

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 197 42 233 A 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 41 J 2/045**  
B 41 J 2/16

21 Aktenzeichen: 197 42 233.0  
22 Anmeldetag: 25. 9. 97  
43 Offenlegungstag: 18. 6. 98

DE 197 42 233 A 1

30 Unionspriorität:  
P 8-337208 17. 12. 96 JP  
71 Anmelder:  
Fujitsu Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP  
74 Vertreter:  
W. Seeger und Kollegen, 81369 München

72 Erfinder:  
Oikawa, Koichi, Kawasaki, Kanagawa, JP; Kodama,  
Jun, Kawasaki, Kanagawa, JP; Iwaishi, Akira,  
Kawasaki, Kanagawa, JP; Kato, Masayuki,  
Kawasaki, Kanagawa, JP; Shingai, Tomohisa,  
Kawasaki, Kanagawa, JP; Yoshida, Yuji, Kawasaki,  
Kanagawa, JP; Ogawa, Kazuki, Kawasaki,  
Kanagawa, JP; Yabu, Ryosuke, Kawasaki,  
Kanagawa, JP; Mizobuchi, Isao, Kawasaki,  
Kanagawa, JP; Nagai, Masahiro, Kawasaki,  
Kanagawa, JP

56 Entgegenhaltungen:  
US 54 71 231  
US 54 65 108  
US 44 71 363  
EP 07 23 866 A1  
EP 06 92 384 A2

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Tintenstrahlkopf, der ein piezoelektrisches Element verwendet

57 Ein Tintenstrahlkopf enthält eine Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind, eine Tintenzuführeinrichtung zum Zuführen von Tinte in diese Druckkammern und enthält eine Tintenausstoßeinrichtung zum Ausstoßen von Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse, um mit Hilfe einer Volumenänderung jeder Druckkammer Tinte zuzuführen und auszustoßen, wenn eine Vielzahl von Verformungen eines piezoelektrischen Elements zusammenwirken bzw. zusammengesetzt werden. Es ist ein Paar von plattenförmig gestalteten Verbundteilen vorgesehen, die einander gegenüberliegen und in einer Richtung senkrecht zu der Anordnungsrichtung einer Vielzahl von Druckkammern angeordnet sind. Ein Druckkammerraum ist zwischen dem Paar der plattenförmig gestalteten Verbundteile festgelegt. Jedes plattenförmig gestaltete Verbundteil ist in solcher Weise ausgebildet bzw. zusammengesetzt, daß ein aktivierter Abschnitt, der aus einem piezoelektrischen Element hergestellt ist, durch das Aufdrücken einer Spannung verformt wird und sich an einen nicht-aktivierten Abschnitt anschließt, der aus einem Material verschieden von dem Material des aktivierten Abschnitts hergestellt ist und wobei der nicht-aktivierte Abschnitt eine Elektrode enthält, um dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt eine Spannung aufzudrücken. Es wird zwischen dem aktivierten und dem nicht-aktivierten Abschnitt eine Verformung verursacht, und zwar durch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) und es werden die ...

DE 197 42 233 A 1

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## 1. Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Drucker vom Tintenstrahltyp, der für ein Aufzeichnungsgerät, wie einem Drucker, einem Kopierer oder Faksimilegerät, verwendet wird, um Zeichen und Bilder aufzuzeichnen. Spezieller betrifft die vorliegende Erfindung einen Tintenstrahlkopf, bei dem die Deformation eines piezoelektrischen Elements als eine Treiberquelle verwendet wird, um eine Tintenstrahlpumpe zu treiben.

Neuendings sind Drucker zum Erzielen einer Büroautomatisation unerlässlich. Darüber hinaus gelangen Drucker immer weiter verbreitet in private Verwendung. Als ein Drucker für die private Verwendung zieht der Drucker vom Tintenstrahltyp die Aufmerksamkeit von Anwendern auf sich, da verglichen mit einem Drucker vom Drahtantriebtyp, bei dem das Drucken auf ein Blatt Papier dadurch bewerkstelligt wird, indem ein Draht gegen eine Schreibwalze über ein Farbband gedrückt wird, der Drucker vom Tintenstrahltyp, bei dem ein Tintenstrahlkopf verwendet wird, in folgenden Punkten vorteilhaft ist: er hat eine geringe Geräuschkentwicklung; die Druckgeschwindigkeit ist relativ hoch; und die Druckkosten pro Blatt Papier sind niedrig.

## 2. Beschreibung des Standes der Technik

Eine Pumpe, um Flüssigkeit auszustoßen, und zwar durch Anwendung der Deformation eines piezoelektrischen Elements ist dadurch gekennzeichnet, daß die Ansprechgeschwindigkeit hoch ist. Es ist daher möglich, eine Pumpe zusammenzusetzen, die keine Ventile besitzt. Aus den oben genannten Gründen wird die Pumpe, bei welcher die Deformation eines piezoelektrischen Elements verwendet wird, in bevorzugter Weise bei einem Tintenstrahlkopf angewendet, der kompakt sein muß und wartungsfrei sein muß. Wenn die Kanäle für die Tinte in der Pumpe derart ausgelegt sind, daß der Widerstand und die Länge an der Eingangsseite verschieden sind von dem Widerstand und der Länge an der Ausgangsseite, wird Tinte auf der Seite eines kurzen Kanals im Falle einer schnellen Kontraktion ausgestoßen und lediglich eine kleine Tintenmenge wird auf der Seite eines langen Kanals ausgestoßen, und zwar aufgrund einer Ansprechverzögerung. Wenn aufeinanderfolgend eine langsame Expansion in der Pumpe durchgeführt wird, wird ein Unterschied zwischen der Tintenmenge verursacht, die in den kurzen Kanal fließt und derjenigen, die in den langen Kanal fließt, da die Querschnittsfläche des kurzen Kanals und diejenige des langen Kanals voneinander verschieden sind. Es ist demzufolge möglich, einen Fluß der Tinte herzustellen, der in einer Richtung als Ganzes verläuft.

Bei dem Tintenstrahlbetrieb, wenn die Druckkammer expandiert wird, ist das Äußere einer Düse, von der Tinte ausgestoßen wird, der Atmosphäre ausgesetzt. Es wird daher die atmosphärische Luft daran gehindert, in die Druckkammer über die Düse einzuströmen, und zwar durch die Wirkung der Oberflächenspannung, die auf der Atmosphärenseite der Düse erzeugt wird. Demzufolge fließt Tinte in die Druckkammer lediglich von dem Zuführkanal her, das heißt, die Strömung der Tinte hat eine starke Richtwirkung. Als ein Körper, um die Pumpe auf diese Weise zu treiben, wobei ein Verhältnis der Tintenströmungsgeschwindigkeit auf der Eingangsseite zu derjenigen auf der Ausgangsseite hoch ist, wird ein piezoelektrisches Element in bevorzugter Weise verwendet. Speziell kann die Deformation eines piezoelektrischen Elements in der Dickenrichtung sehr schnell ansprechen, das heißt es kann auf ein Signal ansprechen, dessen Frequenz in der Größenordnung von MHz liegt, so daß das piezoelektrische Element als ein Ultraschall-Oszillator verwendet werden kann.

Im Falle eines herkömmlichen Tintenstrahlkopfes, bei dem ein piezoelektrisches Element verwendet wird, wird lediglich eine Ausdehnung und Kontraktion in der Richtung der Polarität, verursacht durch den piezoelektrischen Effekt des piezoelektrischen Elements, als eine Einrichtung dafür verwendet, um die Tinte unter Druck zu setzen, indem ein Volumen einer Druckkammer geändert wird, oder es wird lediglich eine Expansion und Kontraktion in der senkrechten Richtung verwendet. Alternativ wird bei dem herkömmlichen Tintenstrahlkopf lediglich eine Scher-Deformation des piezoelektrischen Effektes verwendet. Mit anderen Worten wird lediglich eine Richtung der Deformation, verursacht durch den piezoelektrischen Effekt, als eine Einrichtung dafür verwendet, um die Tinte unter Druck zu setzen.

In Verbindung mit der Deformation eines piezoelektrischen Elements wird die Richtung der Polarisierung mit  $d_{33}$  bezeichnet und die Richtung senkrecht zu der Richtung der Polarisierung wird als  $d_{31}$  bezeichnet. In Verbindung mit der Deformation eines piezoelektrischen Elements liegt die piezoelektrische Konstante  $d_{33}$  maximal bei  $650 \times 10^{-12}$  m/V. Ungeachtet der Dicke des piezoelektrischen Elements liegt selbst dann, wenn die Spannung auf 100 V eingestellt wird, ein Ausmaß der Expansion bzw. Ausdehnung bei etwa 70 nm. Demzufolge ist, wenn nicht ein Bereich der Wand des piezoelektrischen Elements, um die Druckkammer festzulegen, sehr groß ist, das Kontraktionsvolumen der Pumpe sehr klein. Das heißt, ein Ausmaß der Deformation kann wie folgt beschrieben werden. Wenn die Spannung E dem piezoelektrischen Element in der Richtung der Polarisierung aufgedrückt wird und die Dicke des piezoelektrischen Elements in dieser Richtung gleich t beträgt, liegt die elektrische Feldstärke bei  $E/t$  und die Deformation in der Dickenrichtung (der Richtung der Polarisierung), die dadurch verursacht wird, läßt sich durch die folgende Gleichung ausdrücken:

$$(E/t) \times d_{33} \times t = E d_{33}$$

Wenn jedoch der piezoelektrische Effekt durch ein piezoelektrisches Element hervorgerufen wird, werden eine Ausdehnung und Kontraktion und ein Schervorgang in einer Vielzahl von Richtungen verursacht. Demnach ist es vom Gesichtspunkt der Erhöhung des Wirkungsgrades der Verwendung von Energie nicht vorteilhaft, daß lediglich eine dieser Deformationen alleine verwendet wird, sondern es ist vorteilhaft, daß die Deformationen verwendet werden, während sie miteinander verkettet sind. Wenn diese Deformationen eines piezoelektrischen Elements verwendet werden, während sie miteinander verkettet sind oder miteinander gemischt sind, ist es selbst für den Fall, daß eine niedrige Spannung aufge-

drückt wird, möglich, eine Volumenänderung der Druckkammer zu erzielen, dessen Ausmaß das gleiche ist wie dasjenige des gegenwärtigen Tintenstrahlkopfes, und es kann ferner die Ausgabe, die für eine elektrische Stromversorgung erforderlich ist, um den Tintenstrahlkopf zu treiben, reduziert werden.

Im Hinblick auf die oben geschilderten Umstände ist es möglich, einen Tintenstrahlkopf zusammenzustellen, der eine hohe Energieausbeute besitzt, wenn eine Ausdehnung und Kontraktion in der Richtung von  $d_{33}$  erfolgt, welches eine Richtung der Polarität ist, die durch den piezoelektrischen Effekt des piezoelektrischen Elements vorgesehen wird, und zwar verbunden mit einer Ausdehnung und Kontraktion in der Richtung von  $d_{31}$ , welches eine Richtung ist senkrecht zu der Richtung der Polarität, die durch den piezoelektrischen Effekt vorgesehen wird. Wenn eine Spannung dem piezoelektrischen Element derart aufgedrückt wird, daß sich das piezoelektrische Element in der Richtung von  $d_{31}$  kontrahiert, wird das piezoelektrische Element in der Richtung von  $d_{33}$  expandiert. Demzufolge wird eines dieser Verhalten, die zueinander entgegengesetzt sind, als Ursache des Zweielement-Effektes (bimorph effect) verwendet, der in einem Verbundteil generiert wird, welches aus dem piezoelektrischen Element und einem Teil zusammengesetzt ist, das aus einem Material verschieden von dem Material des piezoelektrischen Elements hergestellt ist. Das heißt, es wird Tinte unter Druck gesetzt, indem eine Deformation verursacht durch den piezoelektrischen Effekt des piezoelektrischen Elements selbst einer Deformation überlagert wird, die durch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) verursacht wird, welcher in dem Verbundteil generiert wird, das aus einem Material verschieden von dem Material des piezoelektrischen Elements hergestellt ist.

Wenn das plattenförmig gestaltete piezoelektrische Element (aktivierter Abschnitt) so ausgeführt ist, daß er an dem nicht-aktivierten Abschnitt anhaftet, der aus einem Material verschieden von dem Material des piezoelektrischen Elements hergestellt ist, wird das piezoelektrische Element in der Dickenrichtung erweitert bzw. expandiert und zur gleichen Zeit wird es in der Oberflächenrichtung kontrahiert. Es wird demzufolge eine Spannung zwischen dem piezoelektrischen Element und dem nicht-aktivierten Abschnitt bewirkt. Aufgrund der Erzeugung der Spannung wird die Kammer veranlaßt, die Spannung abzubauen.

Die Fig. 1 und 2 sind Darstellungen, welche dieses Konzept veranschaulichen. In den Fig. 1 und 2 bezeichnet das Bezugszeichen 1 ein plattenförmig gestaltetes Verbundteil, das Bezugszeichen 2 bezeichnet einen aktivierten Abschnitt, zusammengesetzt aus einem piezoelektrischen Element, das Bezugszeichen 3 bezeichnet einen nicht-aktivierten Abschnitt und das Bezugszeichen 4 bezeichnet eine stationäre Wand. Der Krümmungsradius der Kammer ist größer auf der Nicht-aktivierungsabschnittsseite (Dicke  $h_1$ ) und ist kleiner auf der Aktivierungsabschnittsseite (Dicke  $h_2$ ), die im Inneren gelegen ist. Demzufolge ist die Länge des nichtaktivierten Abschnitts in der Oberflächenrichtung etwas verschieden von der Länge des aktivierten Abschnitts in der Oberflächenrichtung. Aufgrund des vorhergehend gesagten, ändert sich die Spannung  $\delta$  des piezoelektrischen Elements sehr stark. Dieses Prinzip wurde auf einen Tintenstrahlmechanismus vor einiger Zeit angewandt. Jedoch ist die Anwendung dieses Prinzips aus den folgenden verschiedenen Gründen eingeschränkt.

- 1) Um ein Verhältnis der Vergrößerung zu erhöhen, ist es vorteilhaft, ein dünnes piezoelektrisches Element zu verwenden. Es ist jedoch schwierig, ein dünnes piezoelektrisches Element auszubilden.
- 2) Wenn die Dicke eines piezoelektrischen Elements reduziert wird, ist es möglich, ein Spannungsvolumen auszuweiten. Jedoch wird die Festigkeit abgesenkt und es wird unmöglich, einen hohen Druck zu erzeugen, das heißt, es wird unmöglich, einen ausreichend hohen Tintenausstoßdruck zu erzeugen.
- 3) Es ist erforderlich, einen Aktivierungsbereich des piezoelektrischen Elements zu erhöhen. Da jedoch eine Einschränkung durch die Konstruktion besteht, wird lediglich eine Fläche des piezoelektrischen Elements angetrieben. Daher weicht das Ausstoßen der Tinte aufgrund eines Fehlabgleichs des aktivierten Bereiches des piezoelektrischen Elements ab.

Andererseits ist im Falle eines Ultraschall-Oszillators, bei dem eine Änderung in der Dicke des piezoelektrischen Elements verwendet wird, die Festigkeit hoch, so daß es möglich wird, einen hohen Druck zu erzeugen, jedoch ist eine Änderung in dem Volumen gering. Es ist demnach erforderlich, eine Wand mit großem Bereich bzw. Fläche vorzusehen, die als eine Aktivierungsfläche verwendet wird.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Es ist demzufolge eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Tintenstrahlkopf mit hohem Energiewirkungsgrad zu schaffen, der einen ausreichend hohen Tintenausstoßdruck erzeugen kann, wenn eine Expansion und Kontraktion des piezoelektrischen Elements in einer Richtung der Polarisierung  $d_{33}$  durch den piezoelektrischen Effekt bewirkt wird und dieser in geeigneter Weise verbunden wird mit einer Expansion und Kontraktion des piezoelektrischen Elements in einer Richtung  $d_{31}$ , die senkrecht zu der Richtung der Polarisierung  $d_{33}$  verläuft, und auch wenn der Zweielement-Effekt verwendet wird, der durch ein Verbundteil erhalten wird, welches zusammengesetzt ist aus dem piezoelektrischen Element und einem anderen Teil, welches aus einem Material verschieden von dem Material des piezoelektrischen Elements hergestellt ist.

Durch die Erfindung soll ein Tintenstrahlkopf geschaffen werden, der aufweist: eine Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind; eine Tintenzuführeinrichtung zum Zuführen von Tinte in diese Druckkammern; und eine Tintenausstoßeinrichtung zum Ausstoßen der Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse, wobei Tinte dadurch zugeführt und ausgestoßen wird, indem das Volumen von jeder Druckkammer geändert wird, wobei wenigstens eine der Wände, welche die Druckkammer bilden, und senkrecht zu der Anordnungsrichtung der Vielzahl der Druckkammern angeordnet ist, zusammengesetzt ist aus einem plattenförmigen Verbundteil, bei dem ein aktivierter Abschnitt, gebildet durch ein piezoelektrisches Element, durch Aufdrücken einer Spannung deformiert wird, welcher aktivierte Abschnitt sich an einen nicht-aktivierten Abschnitt anschließt, der aus einem Material verschieden von dem Material des aktivierten Abschnitts hergestellt ist, wobei der nicht-aktivierte Abschnitt eine Elektrode enthält, um eine Spannung dem piezo-

elektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt aufzudrücken und wobei das plattenförmige Verbundteil eine Volumenänderung von jeder Druckkammer bewirkt, wenn es durch den Zweielement-Effekt gekrümmt und deformiert wird, der zwischen dem aktivierten Abschnitt und dem nicht-aktivierten Abschnitt erzeugt wird.

Wie oben beschrieben wurde, wird gemäß der vorliegenden Erfindung der Zweielement-Effekt vorgesehen, wenn der aktivierte Abschnitt, zusammengesetzt aus einem piezoelektrischen Element, an den nicht-aktivierten Abschnitt angefügt wird, der aus einem Material verschieden von dem Material des piezoelektrischen Elements hergestellt ist. Es ist daher der Energiewirkungsgrad hoch und es ist möglich, einen ausreichend hohen Tintenausstoßdruck zu erzeugen.

Die Druckkammer enthält: ein plattenförmiges Verbundteil, welches wenigstens eine Wand bildet; eine gegenüberliegende Wand, die parallel dem plattenförmigen Verbundteil gegenüberliegt; eine stationäre Wand, die dicht eine Seite des Druckkammerraumes verschließt, welcher Raum durch das plattenförmige Verbundteil und die gegenüberliegende Wand festgelegt ist; und ein Verbindungsteil, um die andere Seite des Druckkammerraumes dicht zu verschließen.

Es sind ein Paar von plattenförmig gestalteten Verbundteilen, die einander gegenüberliegen, vorgesehen, die senkrecht zu der Richtung der Anordnung der Vielzahl der Druckkammern angeordnet sind. Jede Druckkammer ist durch ein Paar von plattenförmig gestalteten Verbundteilen festgelegt. Jedes plattenförmig gestaltete Verbundteil besteht aus einem aktivierten Abschnitt, der aus einem piezoelektrischen Element hergestellt ist, welches durch Aufdrücken einer Spannung deformiert wird, und besteht aus einem nicht-aktivierten Abschnitt, der aus einem Material verschieden von dem Material des aktivierten Abschnitts hergestellt ist, wobei der nicht-aktivierte Abschnitt eine Elektrode enthält, durch die eine Spannung dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt aufgedrückt wird. Das plattenförmig gestaltete Verbundteil wird durch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) gekrümmt und deformiert, der zwischen dem aktivierten Abschnitt und dem nicht-aktivierten Abschnitt bewirkt wird. Die Deformation von einem der plattenförmig gestalteten Verbundteile verläuft entgegengesetzt zu der Deformation des anderen plattenförmig gestalteten Verbundteile.

In diesem Fall enthält die Druckkammer: ein Paar von plattenförmig gestalteten Verbundteilen; eine stationäre Wand, um eine Seite der Druckkammer, die durch das Paar der plattenförmig gestalteten Verbundteile festgelegt ist, dicht zu verschließen; und ein Verbindungsteil, um die andere Seite der Druckkammer dicht zu verschließen.

Das Paar der plattenförmig gestalteten Teile wirkt in solcher Weise, daß die Verformung eines plattenförmig gestalteten Teiles addiert wird zu oder subtrahiert wird von der Verformung des anderen plattenförmigen Teiles. Aufgrund des vorhergehend gesagten, wird die Verformung des piezoelektrischen Elements, die durch die Spannung erzeugt wird, verstärkt, so daß die Kontraktion und die Expansion der Druckkammer verstärkt werden kann.

Um in diesem Zusammenhang den Zweielement-Effekt (bimorph effect) zu realisieren, kann ein Leiter dazu verwendet werden, um eine Spannung dem piezoelektrischen Element aufzudrücken, und zwar als das Material, welches verschieden ist von dem Material des aktivierten Abschnitts, das heißt als Material des nicht-aktivierten Abschnitts. Um den Zweielement-Effekt zu erzeugen, läßt sich die Eigenschaft des Materials, welches verschieden ist von dem Material des piezoelektrischen Elements, in der folgenden Weise festlegen:

$$E_1 \leq E_2$$

worin  $E_1$  ( $N/m^2$ ) ein Modul bzw. Umrechnungsfaktor der Longitudinal-Elastizität des piezoelektrischen Elements ist, welches die gekrümmte Wand bildet (den aktivierten Abschnitt), und worin  $E_2$  ( $N/m^2$ ) ein Modul bzw. Umrechnungsfaktor oder konstanter Koeffizient der longitudinalen Elastizität des Materials ist (des nicht-aktivierten Abschnitts), welches verschieden von dem Material des piezoelektrischen Elements ist.

Die spezifische Konstruktion, um den Zweielement-Effekt zu realisieren, wird wie folgt beschrieben. Es ist ein nicht-aktivierter Abschnitt an einer der Flächen des piezoelektrischen Elements vorgesehen, der ein aktivierter Abschnitt ist, und zwar in der Polaritätsrichtung, welchem eine Spannung aufgedrückt wird. Andererseits ist ein nichtaktivierter Abschnitt bzw. Schicht vorgesehen, der bzw. die ausreichend dünner ist als der nicht-aktivierte Abschnitt an einer Fläche, die oben beschrieben wurde, oder alternativ ist ein nicht-aktivierter Abschnitt vorgesehen. Aufgrund der oben erläuterten Konstruktion wird bei der Verformung in der Richtung von  $d_{31}$ , verursacht durch den piezoelektrischen Effekt des aktivierten Abschnitts, der Einfluß des dicken nicht-aktivierten Abschnitts stärker als der Einfluß des dünnen nicht-aktivierten Abschnitts oder alternativ wird der Einfluß des existierenden nicht-aktivierten Abschnitts stärker als der Einfluß des nicht existierenden nicht-aktivierten Abschnitts. Auf diese Weise läßt sich die Konstruktion des plattenförmig gestalteten Verbundteiles, welches den aktivierten Abschnitt (piezoelektrisches Element) enthält, und auch den nicht-aktivierten Abschnitt enthält, bestimmen.

Da es schwieriger ist, die Kontraktion des nicht-aktivierten Abschnitts zu erzeugen, als die Kontraktion des piezoelektrischen Elements in der Richtung von  $d_{31}$ , wenn das piezoelektrische Element in der Richtung von  $d_{31}$  deformiert wird, wird der Zweielement-Effekt (bimorph effect) in dem plattenförmig gestalteten Verbundkörper durch diese zwei Teile verursacht. Wenn demzufolge sowohl der Zweielement-Effekt, der durch Deformation bzw. Verformung in der Richtung von  $d_{31}$  verursacht wird, erzeugt durch den piezoelektrischen Effekt des piezoelektrischen Elements, als auch die Deformation des piezoelektrischen Elements in der Dickenrichtung, die durch die Deformation bzw. Verformung in der Richtung von  $d_{33}$  verursacht wird, erzeugt durch den piezoelektrischen Effekt eines piezoelektrischen Elements, auf eine Wandfläche der Druckkammer angewendet werden, wird es möglich, sowohl den piezoelektrischen Effekt als auch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) des piezoelektrischen Elements dazu zu verwenden, um die Tinte unter Druck zu setzen.

Wenn in diesem Zusammenhang ein Teil (der nicht-aktivierte Abschnitt) welches aus einem Material verschieden von dem Material des piezoelektrischen Elements (aktivierter Abschnitt) auf das piezoelektrische Element (aktivierter Abschnitt) in der Richtung von  $d_{33}$  gesetzt wird, um dadurch ein plattenförmig gestaltetes Verbundteil zusammenzusetzen, wobei ein Ende des plattenförmig gestalteten Verbundteils fixiert ist und das andere Ende in einen freien Grenzstand gebracht wird, läßt sich der Krümmungsradius  $p$  (m), um die Verformung auszudrücken, die durch den Zweielement-Effekt im Falle der Fixierung von einem Ende verursacht wird, durch die folgende Gleichung ausdrücken:

$$\rho = \frac{h_1}{d_{31} \cdot \frac{V}{h_1}} \cdot \frac{\frac{\alpha}{\beta} + 2\alpha \cdot (2\alpha^2 + 3\alpha + 2) + (3\alpha^4 - 6\alpha^2 + 4) \cdot \beta}{6\alpha \cdot (\alpha + 1)}$$

Bei dem zuvor angegebenen Ausdruck bedeutet  $\alpha$  einen reziproken Wert  $h_2/h_1$  des Verhältnisses aus der Dicke  $h_1$  (m) des piezoelektrischen Elements zur Dicke  $h_2$  (m) des Teiles, welches aus einem verschiedenen Material hergestellt ist, wie dies zum Realisieren des Zweielement-Effektes erforderlich ist,  $\beta$  bedeutet ein Verhältnis  $E_1/E_2$  des longitudinalen Elastizitätsmoduls  $E_1$  (N/m<sup>2</sup>) des piezoelektrischen Elements zu dem longitudinalen Elastizitätsmodul  $E_2$  (N/m<sup>2</sup>) des verschiedenen Materials, welches zur Realisierung des Zweielement-Effektes erforderlich ist,  $V$  (V) ist eine Spannung, die dem piezoelektrischen Element aufgedrückt ist, und  $d_{31}$  (m/V) ist eine piezoelektrische Konstante des piezoelektrischen Elements in der Richtung von  $d_{31}$ .

Wenn ein Verhältnis aus der Dicke des nicht-aktivierten Abschnitts zur Dicke des aktivierten Abschnitts (piezoelektrisches Element) auf einen Wert eingestellt ist, bei dem der Krümmungsradius  $\rho$  (m) klein ausgeführt werden kann, wird ein Verschiebungsvolumen durch Krümmen des piezoelektrischen Elements vergrößert, dessen unteres Ende fixiert ist und es kann die Bewegung des oberen Endes desselben eingeschränkt werden. Wenn demzufolge das piezoelektrische Element in einem plattenförmig gestalteten Verbundteil ausgebildet ist, wird der Verschiebungswirkungsgrad des piezoelektrischen Elements erhöht. Wenn ein Wert von  $h_2/h_1$  zum minimal Gestalten des Krümmungsradius  $\rho$  (m), der durch die oben angegebenen Gleichung erhalten wird, berechnet wird, und zwar unter Verwendung der physikalischen Eigenschaften eines verwendbaren Materials, kann der folgende Ausdruck erhalten werden.

$$0.3 \leq h_2/h_1 \leq 0.8$$

Es wird daher eine Beziehung zwischen der Dicke  $h_1$  (m) des piezoelektrischen Elements und der Dicke  $h_2$  (m) des nicht-aktivierten Abschnitts, der zum Realisieren des Zweielement-Effektes erforderlich ist, durch den oben angegebenen Ausdruck bestimmt.

Wenn eine Dauer bzw. Periode, um Tinte auszustoßen, wiedergegeben wird durch  $x$  (Hz), basiert die Wellenform der Spannung, welche dem piezoelektrischen Element aufgedrückt ist, von der Dauer bzw. Periode ab. Um daher das Auftreten eines mechanischen Resonanzzustandes des plattenförmig gestalteten Verbundteiles zu vermeiden, welches zum Realisieren des Zweielement-Effektes geschaffen ist, muß die charakteristische Frequenz  $f$  (Hz) des plattenförmig gestalteten Verbundteiles selbst, wenigstens dreimal so hoch sein als die Dauer bzw. Periode  $x$  (Hz) des Tintenausstoßes. Demzufolge werden die Abmaße und Werte der physikalischen Eigenschaften des plattenförmig gestalteten Verbundteiles durch die folgenden Ausdrücke bestimmt, um die oben angegebene Beziehung zu befriedigen.

$$E_1 \cdot h_1^2 / \gamma_1 \cdot L^4 \geq 345 \cdot x^2$$

$$E_2 \cdot h_2^2 / \gamma_2 \cdot L^4 > 345 \cdot x^2$$

Bei den zuvor angegebenen Ausdrücken ist der longitudinale Elastizitätsmodul des aktivierten Abschnitts (piezoelektrisches Element) gleich  $E_1$  (N/m<sup>2</sup>), die Dichte beträgt  $\gamma_1$  (kg/m<sup>3</sup>), der longitudinale Elastizitätsmodul des nichtaktivierten Abschnitts ist  $E_2$  (N/m<sup>2</sup>), die Dichte beträgt  $\gamma_2$  (kg/m<sup>3</sup>), die Länge von dem stationären Abschnitt zu dem Verbindungsteil in der Richtung von  $d_{31}$  des piezoelektrischen Elements ist  $L$  (m), die Dicke des piezoelektrischen Elements beträgt  $h_1$  (m) und die Dicke des Teiles, welches angefügt werden muß, liegt bei  $h_2$  (m).

Wenn die Dicke der Druckkammer, die zusammengesetzt ist aus dem aktivierten Abschnitt (piezoelektrisches Element) und dem nicht-aktivierten Abschnitt, und diese mit  $h$  (m) ausgedrückt wird, werden, um eine Aufhebung der Verschiebung des piezoelektrischen Elements durch den Einfluß eines gewünschten erzeugten Druckes, die Abmaße und die Werte der physikalischen Eigenschaften des piezoelektrischen Elements derart bestimmt, daß der folgende Ausdruck befriedigt wird.

$$L^5 \cdot b / h^3 \leq (4 \times 10^{-18}) \cdot E_1$$

Bei dem oben genannten Ausdruck bedeutet  $b$  (m) eine Tiefe des piezoelektrischen Elements in der Richtung senkrecht zu sowohl den Richtungen der Länge  $L$  (m) als auch der Dicke  $h$  (m) des piezoelektrischen Elements.

Bei dieser Konstruktion sind das plattenförmig gestaltete Verbundteil und das Verbindungsteil miteinander verbunden bzw. aneinandergelötet, und zwar mit Hilfe eines Klebemittels oder eines Trockenfilm-Resistmaterials. Wenn jedoch eine Druckkammer eng an das plattenförmig gestaltete Verbundteil der anderen Druckkammer angefügt ist, die sich benachbart zu der oben genannten Druckkammer befindet, wird der Tintenausstoß von einer Druckkammer durch die Verformung des plattenförmig gestalteten Verbundteiles der anderen Druckkammer beeinflusst, die sich neben der oben genannten Druckkammer befindet. Um daher die Anschließfestigkeit zwischen der Druckkammer und dem plattenförmig gestalteten Verbundteil benachbart der Druckkammer zu reduzieren, sind ein Abschnitt oder alle Abschnitte des Anschlußteiles, welches mit der Druckkammer zu verbinden ist, getrennt. Wenn bei dieser Konstruktion die Einschränkung des piezoelektrischen Elements auf der Seite, die nicht fixiert ist, zu stark oder zu schwach ist, wird der Wirkungsgrad der Verformung verschlechtert. Es wird daher der longitudinale Elastizitätsmodul  $E_4$  (N/m<sup>2</sup>) des Klebemittels, welches zum Verbinden einer Vielzahl von plattenförmig gestalteten Verbundteile (Wände) mit dem Verbindungsteil verwendet wird, derart bestimmt, daß der folgende Ausdruck befriedigt wird:

$$1,0 \times 10^9 \leq E_4 \leq 10,0 \times 10^9$$

Um den Wirkungsgrad zu verstärken, wird die Dicke  $h_4$  ( $\mu\text{m}$ ) des Teiles, um das piezoelektrische Element an das Verbindungsteil anzufügen, derart bestimmt, daß der folgende Ausdruck befriedigt wird:

$$10 \leq h_4 \leq 100$$

Es ist möglich, einen aktivierten Abschnitt des piezoelektrischen Elements auszubilden, welches zusammengesetzt ist aus einem Paar von plattenförmig gestalteten Verbundteilen, und auch möglich, die zuvor erwähnte stationäre Wand dadurch auszubilden, indem Rillen oder Nuten in einem integrierten Block des piezoelektrischen Elements ausgebildet werden.

Es wird dabei die folgende Überlegung angestellt. Es ist erforderlich, daß das piezoelektrische Element den Druck aushalten kann, der erzeugt wird, wenn die Tinte unter Druck gesetzt wird und es ist auch erforderlich, daß eine vorbestimmte Tintenmenge ausgestoßen werden kann. Es wird ferner die Grenze in Betracht gezogen, die aufgebaut werden muß, wenn die Bearbeitung einer Nutausbildung realisiert wird. Entsprechend der zuvor erwähnten Überlegung wird die Länge  $L$  (m) von der stationären Wand zu dem Verbindungsteil in der Richtung von  $d_{31}$  des aktivierten Abschnitts (piezoelektrischen Elements) derart bestimmt, daß der folgende Ausdruck befriedigt werden kann:

$$300 \times 10^{-6} \leq L \leq 700 \times 10^{-6}$$

Von dem gleichen Gesichtspunkt aus, wie oben erläutert wurde, wird auch die Dicke  $h_1$  (in) des aktivierten Abschnitts (piezoelektrischen Elements) derart bestimmt, daß der folgende Ausdruck befriedigt werden kann:

$$20 \times 10^{-6} \leq h_1 \leq 80 \times 10^{-6}$$

Durch die vorliegende Erfindung soll ein 'Tintenstrahlkopf' geschaffen werden, der aufweist: eine Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind; eine Tintenzufuhreinrichtung, um Tinte in diesen Druckkammern zuzuführen; und eine Tintenausstoßeinrichtung, um Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse auszustoßen, wobei die Tinte durch eine Änderung in dem Volumen von jeder Druckkammer zugeführt und ausgestoßen wird und wobei eine stationäre Wand, die parallel zu der Anordnungsrichtung der Vielzahl der Druckkammern verläuft und ein Paar der Seitenwände, die einander gegenüberliegen, senkrecht zu der stationären Wand verlaufen und durch ein integriertes Teil gebildet sind, welches aus einem piezoelektrischen Element zusammengesetzt ist, einen Film des nicht-aktivierten Abschnitts, der eine Elektrode enthält, ist an die Fläche des Paares der Seitenwände angefügt, um diesen in dem aktivierten Abschnitt derart auszubilden, daß ein Paar der plattenförmig gestalteten Verbundteile ausgebildet werden, es ist ein Raum der Druckkammer durch die stationäre Wand und das Paar der plattenförmig gestalteten Verbundteil festgelegt, es ist ein Raum zwischen der Druckkammer und der benachbarten Druckkammer festgelegt, jedes plattenförmig gestaltete Verbundteil ist gekrümmt und wird durch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) verformt, der zwischen dem Film des aktivierten Abschnitts und dem Film des nicht-aktivierten Abschnitts hervorgerufen wird, und es wird die so verursachte Verformung in der entgegengesetzten Richtung in bezug auf die zwei plattenförmig gestalteten Verbundteile einander entgegengesetzt aktiviert, um dadurch eine Änderung in dem Volumen von jeder Druckkammer zu erzeugen.

Wenn, wie oben beschrieben wurde, das integrierte piezoelektrische Element einem Nutausbildungsprozeß unterworfen wird, kann die Nut zum Festlegen der Druckkammer ausgebildet werden und die Nut, um den Raum zwischen den Einheiten festzulegen, kann ebenfalls ausgebildet werden. Mit Hilfe eines Plattierungsverfahrens kann die Elektrode, das heißt der nicht-aktivierte Abschnitt des Leiters auf der Wand (aktivierter Abschnitt) des piezoelektrischen Elements ausgebildet werden, um die Druckkammer festzulegen.

In diesem Fall ist die Anordnung dadurch gekennzeichnet, daß der Wert von  $h_3 E_3 / h_1 E_1$  nicht kleiner ist als 0,05, worin  $h_1$  eine Dicke des aktivierten Abschnitts ist, der den plattenförmig gestalteten Verbundkörper bildet,  $h_3$  eine Dicke des nicht-aktivierten Abschnitts ist,  $E_1$  ein longitudinaler Elastizitätsmodul des aktivierten Abschnitts ist und  $E_3$  ein longitudinaler Elastizitätsmodul des nicht-aktivierten Abschnitts ist.

Die Anordnung ist dadurch gekennzeichnet, daß ein erster Metallfilm auf einer Oberfläche von einem der Paare der Seitenwände ausgebildet ist, so daß der erste Metallfilm als eine nicht-aktivierte Schicht verwendet wird; ein zweiter Metallfilm, dessen Dicke verschieden ist von derjenigen des ersten Metallfilms, ist auf dem anderen Paar der Seitenwände ausgebildet, so daß der zweite Metallfilm als eine nicht-aktivierte Schicht verwendet wird; und der Zweielement-Effekt (bimorph effect) wird zwischen der aktivierten Schicht des piezoelektrischen Elements und der nicht-aktivierten Schicht durch den Dickenunterschied zwischen den beiden nicht-aktivierten Schichten erzeugt. Dieser erste und zweite Metallfilm funktioniert als eine Elektrode, durch die eine Spannung über dem aktivierten Abschnitt angelegt werden kann, der aus einem piezoelektrischen Element besteht.

In diesem Fall kann die folgende Anordnung angepaßt werden. Die Dicke der nicht-aktivierten Schicht, die innerhalb der Druckkammer vorgesehen ist, wird groß ausgeführt und die Dicke der nicht-aktivierten Schicht, die außerhalb der Druckkammer vorgesehen ist, wird klein ausgeführt. Indem eine elektrische Ladung zwischen die beiden nicht-aktivierten Schichten injiziert wird, wird ein Volumen der Druckkammer reduziert. Wenn das Volumen der Druckkammer reduziert wird, wird Tinte aus einer Düse ausgestoßen, die mit der Druckkammer kommuniziert.

Dagegen läßt sich die folgende Anordnung ausbilden. Die Dicke der nicht-aktivierten Schicht, die innerhalb der Druckkammer vorgesehen ist, wird klein ausgeführt und die Dicke der nicht-aktivierten Schicht, die außerhalb der Druckkammer vorgesehen ist, wird groß ausgeführt. Durch Injizieren einer elektrischen Ladung zwischen die beiden nicht-aktivierten Schichten wird das Volumen der Druckkammer erhöht. Wenn das Volumen der Druckkammer erhöht wird, wird Tinte in die Druckkammer eingeleitet. Wenn die aufgedrückte Spannung freigegeben wird, wird das Volumen der Druckkammer reduziert. Zu diesem Zeitpunkt wird dann Tinte aus der Düse ausgestoßen.

Durch die vorliegende Erfindung soll ein Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes geschaffen werden, der ausgestattet ist mit: einer Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind; einer Tintenzuführeinrichtung zum Zuführen von Tinte in diese Druckkammern; und einer Tintenausstoßeinrichtung, um Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse auszustößen, um Tinte durch Ändern des Volumens von jeder Druckkammer zuzuführen und auszustoßen, wobei das Herstellungsverfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes die folgenden Schritte umfaßt: Ausbilden eines ersten Metallfilms auf wenigstens einer Wand, welche die Druckkammer bildet, senkrecht zu der Anordnungsrichtung der Vielzahl der Druckkammern, wobei die Wand eine Wand des piezoelektrischen Elements ist, die verformt wird, wenn eine Spannung aufgedrückt wird; Freilegen des piezoelektrischen Elements durch Bearbeiten von einer der Oberflächen der Wand, an der Metall angeklebt war; und Ausbilden eines zweiten Metallfilms an der freigelegten Fläche, wodurch Metallfilme, deren Dicken verschieden voneinander sind, auf beiden Oberflächen der Wand des piezoelektrischen Elements ausgebildet werden. Die Dicken der Metallfilme, die auf beiden Seiten der Wand vorgesehen sind, die aus dem piezoelektrischen Element gebildet ist, sind voneinander verschieden. Daher kann der Zweielement-Effekt in sicherer Weise bewirkt werden.

Durch die vorliegende Erfindung soll ein Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes geschaffen werden, der ausgestattet ist mit: einer Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind; einer Tintenzuführeinrichtung zum Zuführen von Tinte in diese Druckkammern; und einer Tintenausstoßeinrichtung zum Ausstoßen der Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse, um Tinte durch Ändern des Volumens in jeder Druckkammer zuzuführen und auszustoßen, wobei das Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes die folgenden Schritte umfaßt: Ausbilden einer Vielzahl von parallelen Nuten, durch die die Druckkammer festgelegt wird, an dem Block des piezoelektrischen Elements; Einleiten einer ersten Plattierung an der Innenseite der Nuten; Ausbilden einer Vielzahl von Nuten, durch die ein Raum festgelegt ist, zwischen den Nuten, um dadurch die Druckkammer festzulegen; und Einleiten einer zweiten Plattierung an der Innenseite der Nuten, wodurch Metallfilme, deren Dicken voneinander verschieden sind, auf beiden Oberflächen der Wand der Druckkammer ausgebildet werden.

Nachdem in diesem Fall die Nuten ausgebildet worden sind, um die Druckkammer festzulegen, können die Nuten, um zu verhindern, daß eine obere Fläche des Blocks des piezoelektrischen Elements plattiert wird, durch eine Abdeckung bedeckt werden, die später entfernt werden kann, und es kann der erste Plattierungsvorgang eingeleitet werden. Nach der Vervollständigung des ersten Plattierungsvorganges kann die Abdeckung entfernt werden.

Nach der Vervollständigung der zweiten Plattierung können, um die Einheit von der benachbarten Einheit elektrisch abzutrennen, ferner kleine Nuten in den Nuten ausgebildet werden, um den Kammerraum festzulegen.

Durch die vorliegende Erfindung soll auch ein Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes geschaffen werden, der ausgestattet ist mit: einer Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind; einer Tintenzuführeinrichtung zum Zuführen von Tinte in diese Druckkammern; und einer Tintenausstoßeinrichtung zum Ausstoßen der Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse, um Tinte durch Ändern des Volumens in jeder Druckkammer zuzuführen und auszustoßen, wobei das Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes die folgenden Schritte umfaßt: Ausbilden einer ersten Nut, um die Druckkammer in dem piezoelektrischen Block festzulegen, und Ausbilden einer zweiten Nut, um einen Kammerraum festzulegen, wobei die erste und die zweite Nut abwechselnd und parallel zu einander ausgebildet werden; Plattieren der ersten und der zweiten Nut, wobei die Dicke der Plattierungsschicht klein ist; Ausfüllen von einer der ersten und zweiten Nuten mit einem entfernbaren Füllmaterial; Bedecken der gesamten Oberfläche mit einem Resistmaterial; Entfernen des Füllmaterials; und Plattieren der ersten und der zweiten Nut, wobei die Dicke der Plattierungsschicht groß ist, so daß die Metallfilme unterschiedlicher Dicke auf beiden Seiten der Seitenwand der Druckkammer ausgebildet werden.

In diesem Fall wird eine Elektroplattierung bei wenigstens einem Abschnitt des Plattierungsprozesses durchgeführt, bei dem eine dicke Metallschicht ausgebildet wird, so daß die Dicke der Plattierungsschicht an dem Randabschnitt der Seitenwand der Druckkammer kleiner ist als die Dicke der Plattierungsschicht am Zentrum. Aufgrund des vorhergehend gesagten, kann der Verformungswiderstand an dem Ecken- oder Randbereich des piezoelektrischen Elements reduziert werden und der Zweielement-Effekt (bimorph effect) kann effektiv dazu verwendet werden, um die Druckkammer zu expandieren und zu kontrahieren.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 ist eine Ansicht, welche die Umstände zeigt, bei denen ein piezoelektrisches Element in der Oberflächenrichtung kontrahiert wird, so daß das piezoelektrische Element gekrümmt wird, und zwar aufgrund einer Differenz der Spannung zwischen dem piezoelektrischen Element und der dicken Elektrode.

Fig. 2 zeigt eine Ansicht, die einen Zustand veranschaulicht, bei dem das piezoelektrische Element (aktivierter Abschnitt) und der nicht-aktivierte Abschnitt, der aus einem verschiedenen Material hergestellt ist, aneinandergelügt sind, um dadurch ein plattenförmig gestaltetes Verbundteil zu bilden.

Fig. 3 ist eine Querschnittsansicht, die einen primären Abschnitt (Druckkammer) des ersten Beispiels des Tintenstrahlkopfes der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 4 zeigt eine perspektivische Ansicht, die einen Zustand veranschaulicht, bei dem das Verbindungsteil von dem Tintenstrahlkopf des ersten Beispiels entfernt ist.

Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht, die einen primären Abschnitt (Druckkammer) des zweiten Beispiels des Tintenstrahlkopfes der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 6 ist eine Draufsicht des Verbindungsteiles des Tintenstrahlkopfes des zweiten Beispiels.

Fig. 7(a) ist eine Ansicht, welche einen piezoelektrischen Elementblock zeigt.

Fig. 7(b) ist eine Ansicht, die einen Zustand zeigt, bei dem die Druckkammer durch Ausbilden einer Nut ausgebildet wird.

Fig. 8 zeigt eine Graphen, der eine Beziehung zwischen dem Verhältnis der Dicke der Zweielement-Schicht (bimorph layer) und dem Krümmungsradius zeigt.



Fig. 9 zeigt eine schematische Darstellung, die einen Zustand der Kontraktion der Druckkammer zeigt, verursacht durch eine Biegeverformung des piezoelektrischen Elements im Falle der Kontraktion, wenn die Elektrode auf einer Seite der Wand dick ausgebildet ist;

Fig. 10 ist eine Querschnittsansicht, die ein Beispiel zeigt, bei dem ein Paar von plattenförmig gestalteten Verbundteilen daran gehindert werden, nach außen vorzudringen, wenn ein Rahmen an dem Öffnungsabschnitt der plattenförmig gestalteten Verbundteile vorgesehen ist;

Fig. 11(a) und 11(b) sind Ansichten, die einen Prozeß der Plattierung zeigen, durch die die gesamte Innenfläche der Druckkammer mit einer Plattierungsschicht bedeckt wird;

Fig. 12(a) zeigt eine Ansicht, die einen Zustand des Würfelschneidens veranschaulicht, welches auf einem Teil aus einem Material des piezoelektrischen Elements durchgeführt wird, in welchem Nuten in der Querrichtung ausgebildet sind;

Fig. 12(b) ist eine Ansicht, die einen Prozeß zur Herstellung einer Elektrode mit Hilfe eines Plattierungsvorganges veranschaulicht;

Fig. 13(a) zeigt eine Ansicht, die einen Prozeß wiedergibt, bei dem ein Öffnungsende der Druckkammer mit einem Film bedeckt wird und bei dem eine Plattierung innerhalb der Druckkammer eingeleitet wird;

Fig. 13(b) ist eine Ansicht, die einen Prozeß wiedergibt, bei dem die Druckkammer mit einem Füllmaterial gefüllt wird;

Fig. 13(c) zeigt eine Ansicht, die einen Prozeß veranschaulicht, bei welchem die Druckkammer mit einem Resistmaterial bedeckt wird, und zwar mit Hilfe eines Plattierungsvorganges;

Fig. 13(d) ist eine Ansicht, die einen Prozeß einer Dicken-Plattierung veranschaulicht, der mit Hilfe eines elektrofreien Plattierungsvorganges an der Innenseite der Druckkammer durchgeführt wird, aus der das Füllmaterial entfernt worden ist;

Fig. 14(a) zeigt eine Ansicht, die einen Prozeß veranschaulicht, bei dem ein Öffnungsende der Druckkammer mit einem Film bedeckt wird und eine Plattierung innerhalb der Druckkammer eingeleitet wird;

Fig. 14(b) zeigt eine Ansicht, die einen Prozeß wiedergibt, bei dem die Druckkammer mit einem Füllmaterial gefüllt wird;

Fig. 14(c) zeigt eine Ansicht, die einen Prozeß veranschaulicht, bei dem die Druckkammer mit dem Resistmaterial mit Hilfe eines Plattierungsvorganges bedeckt wird;

Fig. 14(d) ist eine Ansicht, die einen Prozeß der Dicken-Plattierung zeigt, der mit Hilfe einer Elektroplattierung auf der Innenseite der Druckkammer eingeleitet wird, aus der das Füllmaterial entfernt worden ist; und

Fig. 15 zeigt eine vergrößerte Ansicht, die einen Endzustand der Druckkammer veranschaulicht, aus der das Resistmaterial entfernt worden ist, und zwar bei dem Prozeß, der in Fig. 14 veranschaulicht ist.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Fig. 3 zeigt eine Querschnittsansicht, die einen primären Abschnitt (Druckkammer) des ersten Beispiels des Tintenstrahlkopfes der vorliegenden Erfindung wiedergibt.

Wie in Fig. 3 dargestellt ist, ist eine große Zahl von Druckkammern 10 in der Richtung x vorgesehen. Obwohl dies in Fig. 3 nicht dargestellt ist, steht jede Druckkammer mit einer Düse in Strömungsverbindung, über die Tinte aus der Druckkammer 10 ausgestoßen wird und steht auch mit einer Tintenzuführöffnung in Strömungsverbindung, über die Tinte in die Druckkammer eingeführt wird. Es ist ein plattenförmig gestaltetes Verbundteil 1 vorgesehen, durch welches eine Wand der Druckkammer festgelegt ist. Das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 ist in solcher Weise zusammengesetzt, daß Leiter (nicht-aktivierte Schichten) 5, 6, die als Elektroden verwendet werden, an beiden Seiten eines piezoelektrischen Elements (aktivierte Schicht) 2 angefügt sind.

Dieses plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 definiert eine Wand der Druckkammer 10. Die Richtung der Polarisation des piezoelektrischen Elements 1 ist die gleiche wie die Richtung von x. Die Richtung der Polarisation des piezoelektrischen Elements 2 verläuft einheitlich in bezug auf eine Wand. Diese Richtung x der Polarisation verläuft senkrecht zu den Flächen der Elektroden 5, 6. Die Elektrode 5 ist innerhalb der Druckkammer 10 angeordnet und ist dick ausgebildet, und die Elektrode 6 ist außerhalb der Druckkammer 10 angeordnet und ist dünn ausgebildet. Wenn diese Teile in dem plattenförmig gestalteten Verbundteil 1 inkorporiert sind, beherrschen zwei Faktoren des piezoelektrischen Elements (aktivierte Schicht) 2 und die dicke Elektrode 5 den Verformungsmodus.

Wie aus Fig. 3 ershen werden kann, ist die Druckkammer 10 als ein Raum definiert, der durch die stationäre Wand 4 begrenzt ist, die sich in der Richtung x erstreckt, wobei sich das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 in der Richtung z senkrecht zu der Richtung x erstreckt, und wobei die nicht-aktivierte gegenüberliegende Wand 8 dem plattenförmig gestalteten Verbundteil 1 gegenüberliegt, und war parallel, und ein Verbindungsteil 9 den oberen Öffnungsabschnitt verschließt. Das Verbindungsteil 9 ist an dem plattenförmig gestalteten Verbundteil 1 und der gegenüberliegenden Wand 8 durch ein Klebeteil oder ein Klebemittel befestigt.

Die gegenüberliegende Wand 8 arbeitet auch als ein Wandabschnitt der benachbarten Druckkammer 10. Die benachbarte Druckkammer 10 ist auch durch die gegenüberliegende Wand 8 und das benachbarte plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 definiert. In der gleichen Weise, wie oben beschrieben wurde, ist bei diesem benachbarten plattenförmig gestalteten Verbundteil 1 die Elektrode 5, die innerhalb der Druckkammer 10 angeordnet ist, dick ausgebildet und die Elektrode 6, die außerhalb der Druckkammer 10 angeordnet ist, ist dünn ausgebildet.

Fig. 4 zeigt eine perspektivische Ansicht, die einen Abschnitt der Druckkammer des Tintenstrahlkopfes veranschaulicht, der in Fig. 3 gezeigt ist, wobei das Verbindungsteil von der Druckkammer bei dieser Ansicht entfernt ist. Wie in Fig. 4 dargestellt ist, ist eine Düsenplatte 11 vorgesehen, die in solcher Weise angeordnet ist, daß eine Seite einer großen Zahl von Druckkammern 10, die in der x-Richtung angeordnet sind, durch die Düsenplatte 11 verschlossen ist. Bei dieser Anordnung entspricht jede Düse 11a jeder Druckkammer 10. Die andere Seite der Druckkammer 10 in bezug auf die Düsenplatte 11 ist durch eine Endplatte 13 an der Tintenzuführseite verschlossen. Auf diese Endplatte 13 sind Tintenzuführ-

öffnungen (nicht gezeigt) ausgebildet, durch die Tinte in die Druckkammern 10 eingeführt wird.

Es soll nun unter Hinweis auf Fig. 3 die Betriebsweise des ersten Beispiels der vorliegenden Erfindung erläutert werden. Wie in Fig. 3 dargestellt ist, ist das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 zusammengesetzt aus einem piezoelektrischen Element 2, welches einen aktivierten Abschnitt bildet, und den Elektroden 5, 6, die nicht-aktivierte Abschnitte darstellen. Bei dieser Anordnung wird eine Spannung zwischen den Elektroden 5 und 6 angelegt.

Wenn eine Spannung dem piezoelektrischen Element 2 aufgedrückt wird, wird das piezoelektrische Element 2 in der Richtung z in Fig. 3 kontrahiert, das heißt das piezoelektrische Element 2 wird in der Richtung  $d_{31}$  (in der Zeichnung die Richtung (1)) kontrahiert und zur gleichen Zeit wird das piezoelektrische Element 2 in der Richtung x expandiert, das heißt das piezoelektrische Element 2 wird in der Richtung  $d_{33}$  (in der Zeichnung die Richtung (2)) expandiert. Da das piezoelektrische Element 2 in der Richtung  $d_{31}$  kontrahiert wird, wird das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1, welches aus der dicken Elektrode 5 und dem piezoelektrischen Element 2 besteht, durch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) verformt. Diese Verformung addiert sich zu der Verformung, die durch den piezoelektrischen Effekt in der Richtung 33 verursacht wird. Daher wird das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 gekrümmt, wie dies durch die unterbrochene Linie in der Zeichnung dargestellt ist.

Aufgrund des vorhergehend gesagten, wird das Volumen der Druckkammer 10 vermindert und es kann Tinte aus der Düse ausgestoßen werden. Bei dieser Anordnung sind das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 und die stationäre Wand 4 aus verschiedenen Materialien hergestellt. Diese Materialien können die gleichen sein, das heißt es können das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 und die stationäre Wand 4 einstückig aus dem Material des piezoelektrischen Elements hergestellt sein. In diesem Zusammenhang bildet die stationäre Wand 4 einen nicht-aktivierten Abschnitt. Die Abmaße von jedem Teil sind so, wie in der Tabelle 1 gezeigt ist, festgelegt. Die physikalischen Eigenschaften (Elastizitätsmodule) des piezoelektrischen Elements, des Leiters, der aus der Elektrode und dem Klebteil zusammengesetzt ist, sind so, wie in der Tabelle 2 gezeigt ist, festgelegt. Die Zeitdauer oder Periode  $\tau$ , in welcher Tinte aus der Düse des Tintenstrahlkopfes ausgestoßen wird, liegt bei  $7,2 \times 10$  (Hz), und die Dichte  $\gamma_2$  des piezoelektrischen Elements liegt bei  $8,15 \times 10$  ( $\text{kg/m}^3$ ).

Tabelle 1

Teil	Name	Variable	Einheit	Wert
piezoelektrische Körper (2)	Dicke	$h_1$	$\mu\text{m}$	60
	Länge	L	$\mu\text{m}$	450
	Tiefe	b	$\mu\text{m}$	2
Elektrode (dick) (5)	Dicke	$h_2$	$\mu\text{m}$	30
Elektrode (dünn) (6)	Dicke	$h_3$	$\mu\text{m}$	2
Verbindungsteil (8)	Dicke	$h_5$	$\mu\text{m}$	30
Klebeteil (12)	Dicke	$h_4$	$\mu\text{m}$	25

Tabelle 2

Teil	Variable	Einheit	Wert
piezoelektrischer Körper	$E_1$	$\text{N/m}^2$	$6,80\text{E} + 10$
Leiter	$E_2$	$\text{N/m}^2$	$2,10\text{E} + 11$
Klebeteil	$E_4$	$\text{N/m}^2$	$4,00\text{E} + 09$

Wenn die in den Tabellen 1 und 2 aufgeführten Bedingungen befriedigt werden, lassen sich die folgenden Ausdrücke aufstellen:

$$0.3 \leq \frac{h_2}{h_1} = \frac{30 \times 10^{-4}}{60 \times 10^{-4}} = 0.5 \leq 0.8$$

$$E_1 = 6.8 \times 10^{10} \leq E_2 = 2.1 \times 10^{11}$$

$$\frac{E_1 \cdot h_1^2}{\gamma_1 \cdot L^4} = \frac{6.8 \times 10^{10} \times (60 \times 10^{-4})^2}{8.15 \times 10^3 \times (450 \times 10^{-6})^4} = 7.33 \times 10^{11} \geq 1.79 \times 10^{10} = 345 \times (7.2 \times 10^3)^2 = 345 \cdot x^2$$

$$\frac{E_2 \cdot h_2^2}{\gamma_2 \cdot L^4} = \frac{2.1 \times 10^{10} \times (30 \times 10^{-4})^2}{8.90 \times 10^3 \times (450 \times 10^{-6})^4} = 5.18 \times 10^{11} \geq 1.79 \times 10^{10} = 345 \times (7.2 \times 10^3)^2 = 345 \cdot x^2$$

$$\frac{L_3 \cdot b}{h^3} = \frac{(450 \times 10^{-6})^3 \times 2 \times 10^{-3}}{(30 \times 10^{-4} + 60 \times 10^{-4})^3} = 5.06 \times 10^{-6} \leq 2.72 \times 10^{-7} (4 \times 10^{-10}) \times 6.8 \times 10^{10} = (4 \times 10^{-14}) \cdot E_1$$

$$1.0 \times 10^8 \leq E_1 = 4.5 \times 10^9 \leq 10.0 \times 10^9$$

$$10 \leq h_1 = 25 \leq 100$$

Wenn der Tintenstrahlkopf in der oben beschriebenen Weise zusammengesetzt ist, ist es möglich, einen Tintenstrahlkopf mit hohem Energiewirkungsgrad zu schaffen.

Fig. 5 zeigt eine Querschnittsansicht, die einen primären Abschnitt (Druckkammer) des zweiten Beispiels des Tintenstrahlkopfes der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

Punkte, die von dem ersten Beispiel, welches in Fig. 3 gezeigt ist, verschieden sind, werden im folgenden erläutert. Bei der Anordnung des zweiten Beispiels ist nicht nur die Wand auf einer Seite der Druckkammer, sondern es sind die Wände auf beiden Seiten derselben durch das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 zusammengesetzt. Das piezoelektrische Element 2, welches einen aktivierten Abschnitt des plattenförmig gestalteten Verbundkörpers 1 darstellt, ist mit der stationären Wand 4 integriert, das heißt die stationäre Wand 4 besteht aus dem piezoelektrischen Element. In der gleichen Weise, wie zuvor beschrieben wurde, ist jedes plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 in solcher Weise zusammengesetzt, daß die Leiter (nicht-aktivierte Schichten) 5, 6, die als Elektroden zu verwenden sind, an beiden Seiten des piezoelektrischen Elements (aktiviertem Abschnitt) 2 angefügt sind. Die Elektrode 5, die innerhalb der Druckkammer 10 angeordnet ist, ist dick ausgebildet und die Elektrode 6, die außerhalb der Druckkammer 10 vorgesehen ist, ist dünn ausgebildet.

Demzufolge ist, wie aus Fig. 5 ersehen werden kann, die Druckkammer 10 als ein Raum definiert, der durch die stationäre Wand 4 begrenzt ist (das piezoelektrische Element 2 und der nicht-aktivierte Abschnitt), die sich in der Richtung x erstreckt, ein Paar der plattenförmig gestalteten Verbundteile 1 erstreckt sich in der Richtung z senkrecht zu der Richtung x, und ein Verbindungsteil 9 verschließt den oberen Öffnungsabschnitt des Paares der plattenförmig gestalteten Verbundteile 1.

Es ist ein Raum 7 zwischen dem plattenförmig gestalteten Verbundteil, welches die Seitenwand der Druckkammer 10 bildet, und dem plattenförmig gestalteten Verbundteil 1 der benachbarten Druckkammer 10 ausgebildet.

Fig. 6 zeigt eine Draufsicht des Verbindungsteiles 9 des zweiten Beispiels, wobei die Ansicht in der Richtung z gewählt ist. Dieses Verbindungsteil 9 besitzt Nuten (Öffnungen) 9a, die an Positionen gelegen sind entsprechend den Räumen 7, die zwischen benachbarten Druckkammern 10 ausgebildet sind. Das heißt, die Düsenseite des Verbindungsteiles 9 ist mit der Zuführöffnungsseite des Verbindungsteiles 9 verbunden und das Verbindungsteil 9 ist durch diese Nuten 16 lediglich in Abschnitten getrennt, die den Räumen 7 entsprechen, welche zwischen den Druckkammern 10 ausgebildet sind. Das Verbindungsteil 9 besitzt ein gitterförmig gestaltetes Profil.

Aufgrund der oben erläuterten Anordnung kann das Ausmaß der Kombination, welche durch das Verbindungsteil 9 zwischen den benachbarten Druckkammern 10 erzielt wird, auf einen niedrigen Wert unterdrückt werden. Es kann daher der Treiberzustand der Druckkammer schwierig durch den Treiberzustand der benachbarten Druckkammer beeinflusst werden. Das Verbindungsteil 9 ist mit Hilfe eines Klebeteiles 12 an das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 angefügt. Die Abmaße und physikalischen Eigenschaften jedes Teiles dieses zweiten Beispiels sind die gleichen wie diejenigen, die in den Tabellen 1 und 2 aufgeführt sind. Aufgrund des vorhergehend gesagten, beträgt dann, wenn eine Spannung von 40 V dem piezoelektrischen Element 2 bei dieser Anordnung aufgedrückt wird, die Volumenverschiebung in der Druckkammer 10 angenähert 60 (pl). Es ist daher möglich, ein vorbestimmtes Verschiebungsvolumen durch eine niedrige Spannung zu erhalten.

Als nächstes soll unter Hinweis auf die Fig. 7(a) und 7(b) das Verfahren zur Herstellung des Tintenstrahlkopfes der vorliegenden Erfindung speziell erläutert werden.

In Verbindung mit dem piezoelektrischen Element ist es möglich, ein piezoelektrisches Element, wie beispielsweise HSD zu verwenden, welches durch die Firma Sumitomo Metal Industries, Ltd. hergestellt wird, oder C9, welches durch Fuji Ceramics Co., Ltd. hergestellt wird. Wenn die Nutausbildung an einer Fläche eingeleitet wird (z. B. der oberen Fläche, die in der Zeichnung gezeigt ist), und zwar von dem piezoelektrischen Elementblock 20, der in Fig. 7(b) gezeigt ist, und zwar mit Hilfe einer Schleifmaschine wie einer Wurfel-Herstellungssäge, ist es möglich, eine Wand (aktivierter Abschnitt) auszubilden, deren Höhe bei 450 µm liegt und deren Dicke bei 60 µm liegt, wie dies in Fig. 7(a) gezeigt ist. Es ist in dieser Weise möglich, einen Raum zum Festlegen der Druckkammer 10 zwischen den Wänden auszubilden.

Die Elektrode ist in einem spezifischen Abschnitt an jeder Wand ausgebildet. In Verbindung mit dem Verfahren zur Herstellung der Elektrode werden Abschnitte, die einem Plattierungsprozeß nicht unterworfen werden, an früherer Stelle mit einem Resistmaterial bedeckt, und es werden andere Abschnitte dem Plattierungsprozeß (Au, Ni, Cr und Pt) dem Plattierungsprozeß unterworfen, während die Dicke der Plattierungsschicht in Einklang mit der Plattierungsgeschwindigkeit gesteuert wird. Die Ausbildung der Elektrode ist nicht auf das zuvor erläuterte spezifische Verfahren beschränkt, sondern es ist auch möglich, Verfahren gemäß einem Dampfniederschlagen oder Kathodenzerstäubungsprozeß (sputtering) zu verwenden.

Die Druckkammer 10 wird ausgebildet, wenn die oberen Endabschnitte der Wände, die einander benachbart sind, mit dem Verbindungsteil (Dach) 9 verbunden werden, wie dies in den Fig. 5 und 6 veranschaulicht ist. Dieses Verbindungsteil 9 ist aus SUS (rostfreier Stahl) oder Glas hergestellt. Wenn das Verbindungsteil 9 an den oberen Endabschnitt der Wand angeklebt wird, ist es möglich, ein Klebeteil 12 zu verwenden, mit einer hohen antiorganischen Lösungsmitteligenschaft, wie beispielsweise einem Klebe- und Thermalschmelzfilm.

Wenn das Verbindungsteil 9 mit jeder Druckkammer 10 verbunden ist, wird es möglich, ein Verfahren anzuwenden, durch welches das Verbindungsteil 9 individuell zum Festkleben an jeder Druckkammer 10 gebracht wird. Wie jedoch bei dem ersten und dem zweiten Beispiel gezeigt ist, kann ein Stück des Verbindungsteiles 9 dazu gebracht werden, an einer Oberfläche des piezoelektrischen Elements anzukleben, in welchem die Wände bereits ausgebildet worden sind, und es kann dann das Verbindungsteil 9 in eine vorbestimmte Gestalt geschnitten werden.

Eine Düsenplatte 11 mit Düsenöffnungen 12, die den einzelnen Druckkammern 10 entsprechen, wird an ein Teil (piezoelektrisches Element) angefügt, in welchem die Druckkammern ausgebildet sind, wie dies in Fig. 4 veranschaulicht ist. Die Düsenplatte ist in solcher Weise ausgebildet, daß eine Platte aus SUS (rostfreiem Stahl) einer Preßformung, Ni-Elektroschmelzformung oder Harzgußformung unterworfen wird oder alternativ ein Film aus PET, PES oder PEN mit einer hohen antiorganischen Lösungseigenschaft einer Laserstrahlbearbeitung unterworfen wird. Wenn die Düsenplatte 11 an das piezoelektrische Element angefügt wird, wird ein Klebemittel-Agens mit einer hohen antiorganischen Lösungseigenschaft

genschaft, ein Hitzeschmelzfilm oder DFR verwendet.

Es ist möglich, die Druckkammerseite, in die Tinte eingeführt wird, in der gleichen Weise herzustellen, wie diejenige der Düsenplatte 11. Alternativ kann das folgende Verfahren zur Herstellung eines Tintenzuführkanals (nicht gezeigt) realisiert werden. Es werden Nuten auf der Seite des piezoelektrischen Elements, an welcher Tinte zugeführt wird, ausgebildet und es wird ein Teil zum dichten Verschließen der Druckkammer 10 angefügt, so daß die Nuten nicht verschlossen werden können.

Wenn ein gemeinsames Tintenzuführkanalteil, welches jeden Tintenzuführkanal begrenzt, zum Ankleben gebracht wird, wird es möglich, Tinte von einem Tintentank (nicht gezeigt) zu jeder Druckkammer zuzuführen.

Die Elektrode von jedem piezoelektrischen Element wird in der folgenden Weise herausgeführt. Es wird eine Nut an der Fläche ausgebildet, auf der die Düsenplatte 11 zum Ankleben gebracht wird, und zwar entsprechend jeder Nut (Druckkammer 10, Raum 7). Danach wird der Plattierungsvorgang eingeleitet. In diesem Fall kann ein Kathodenzerstäubungsverfahren (sputtering) oder ein Dampfniederschlagsverfahren angewandt werden. Jedoch werden bei den oben erläuterten Umständen die Elektrode, die in der Druckkammer 10 ausgebildet ist, und die Elektrode, die in dem Raum 7 ausgebildet ist, miteinander kurzgeschlossen. Daher wird eine redundante plattierte Schicht mit Hilfe eines Lapp-Vorganges entfernt. Aufgrund des vorhergehend gesagten, können die oben erwähnten Elektroden elektrisch voneinander isoliert werden.

Fig. 8 zeigt eine graphische Darstellung, welche eine Beziehung zwischen dem Verhältnis aus der Dicke einer nicht-aktivierten Schicht (piezoelektrischem Element) zu der Dicke einer aktivierten Schicht (Leiter) und den Krümmungsradius veranschaulicht. Das heißt, bei der graphischen Darstellung sind ein Wert von  $1/(Krümmungsradius)$  und ein Verhältnis aus der Dicke einer nicht-aktivierten Schicht zu der Dicke einer aktivierten Schicht berechnet. In diesem Fall ist der longitudinale Elastizitätsmodul der aktivierten Schicht eingestellt auf  $60 \times 10^{10}$  (N/m<sup>2</sup>) und der longitudinale Elastizitätsmodul der nicht-aktivierten Schicht ist eingestellt auf  $200 \times 10^{10}$  (N/m<sup>2</sup>). Wie oben beschrieben wurde, wird dann, wenn die Druckkammer durch Ausbilden der Nut in dem piezoelektrischen Element hergestellt wird, eine dicke Elektrode an der Wand an der Druckkammerseite vorgesehen, und zwar mit Hilfe eines Plattierungsprozesses, und es wird eine dünne Elektrode auf der Wand an der gegenüberliegenden Seite hergestellt. Aufgrund der oben erläuterten Anordnung wird eine Differenz der Kontraktion zwischen beiden Seiten des piezoelektrischen Elements verursacht. Es wird daher der Zweielement-Effekt (bimorph effect) bewirkt und es wird die Wand des piezoelektrischen Elements nach innen gekrümmt, so daß ein Ausmaß der Kontraktion der Druckkammer erhöht werden kann.

Unter der Bedingung, daß die elektrische Feldstärke konstant ist, steht der Krümmungsradius in einem umgekehrten Verhältnis zu der piezoelektrischen Konstanten  $d_{31}$  und ist proportional zu der Dicke. Unter der Bedingung, daß die Spannung konstant ist, ist der Krümmungsradius umgekehrt proportional zu der piezoelektrischen Konstanten  $d_{31}$  und ist proportional zum Quadrat der Dicke. Es ist daher möglich, die Konstruktion in solcher Weise auszuführen, daß das Ausmaß der Kontraktion um mehrere Male multipliziert wird. Das Ergebnis der Berechnung, die angestellt wurde, um eine Beziehung zwischen dem reziproken Wert eines Krümmungsradius und dem Verhältnis der Dicke zu finden (Elektrode/piezoelektrisches Element = nicht-aktivierte Schicht/aktivierte Schicht), ist in der graphischen Darstellung von Fig. 8 gezeigt, wobei die Elektrode, das heißt die nicht-aktivierte Schicht aus Nickel besteht, der longitudinale Elastizitätsmodul des piezoelektrischen Elements bei  $60 \times 10^{10}$  (N/m<sup>2</sup>) liegt und der longitudinale Elastizitätsmodul von Nickel gleich  $200 \times 10^{10}$  (N/m<sup>2</sup>) beträgt. Wenn das Verhältnis der Dicke 0,05 überschreitet, wird die Kurve bemerkenswert gekrümmt. Daher liegt das geeignetste Verhältnis bei 0,4 bis 0,55, bei dem die Kurve in der günstigsten Weise gekrümmt ist.

Im Falle der Vorformung, die in Fig. 9 gezeigt ist, ist das Ausmaß der Kontraktion proportional zur dritten Potenz der Höhe  $h$  und der Tiefe  $b$ . Demzufolge ist es möglich, wenn die Höhe  $h$  lediglich ein bißchen erweitert wird, die Länge zu verkürzen, während das Ausmaß der Kontraktion auf einem vorbestimmten Wert gehalten wird. Wenn der Druck in der Druckkammer erhöht wird, wird die Wand nach rückwärts gestoßen. In diesem Fall ist die Steifigkeit der Wand proportional zu der dritten Potenz der Dicke. Wenn daher die Wanddicke klein ist, wird der Druck abgesenkt. Die Konstruktion wird eingeleitet, während die oben geschilderte Betrachtung bzw. Überlegung angestellt wird. Da jedoch ein Ausmaß der Kontraktion durch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) erhöht wird, ist der Freiheitsgrad der Konstruktion erhöht. Als Ergebnis wird es möglich, eine piezoelektrische Pumpe zu schaffen, deren Kontraktionsausmaß bei hohem Druck groß ist.

Es ist möglich, die Wände des piezoelektrischen Elements so auszubilden, daß sie auf beiden Seiten der Druckkammer 10 angeordnet sind, und zwar bei der Stufe der Formherstellung vor dem Anlassen des piezoelektrischen Elements, es ist jedoch, um feine Wände mit Genauigkeit herzustellen, zu bevorzugen, die Wände durch Nutausbildung, wie beispielsweise durch Schleifen, herzustellen, welches mit Hilfe einer Würtelerzeugungssäge bewerkstelligt wird, und zwar nach der Vervollständigung des Anlassens des piezoelektrischen Elements.

Danach wird die Elektrode dazu gebracht, mit Hilfe eines Sprühverfahrens oder Spritzverfahrens anzuhafte. In diesem Fall ist das Verfahren des elektrofreien Plattierens effektiv. Durch eine Vorbehandlung, durch die die oberflächenaktive Schicht erzeugt wird, ist es möglich, eine Elektrode mit einheitlicher Dicke auf einem nichtmetallinen Diezoelektrischen Element auszubilden. In dem Fall, bei dem die Elektrode auf diese Weise hergestellt wird, können die Dicken der Elektroden, die auf beiden Seiten der Wand des piezoelektrischen Elements erzeugt wurden, verschieden voneinander ausgeführt werden, und zwar mit Hilfe der folgenden Verfahren.

- 1) Es wird ein Plattierungsverfahren durchgeführt, während eine Oberfläche mit einer Maske bedeckt ist.
- 2) Es wird ein Filmherstellungsverfahren verwendet, welches eine Richtwirkung hat, wie beispielsweise ein Verfahren gemäß dem Dampfniederschlagen, und eine der Oberflächen wird dazu gebracht, mit dessen Richtung zu ko-  
inzidieren.
- 3) Eine der Nutenflächen wird an früherer Stelle ausgebildet und eine dicke plattierte Schicht wird auf der Oberfläche mit Hilfe des Plattierungsverfahrens ausgebildet. Danach werden die anderen der Nutenflächen ausgebildet, so daß eine neue Fläche des piezoelektrischen Elements freigelegt wird und es wird ein sukzessives Plattieren fortgesetzt. Es wird dann die plattierte Schicht auf der Oberfläche, auf welche das Plattieren bereits zuvor durchgeführt

worden ist, verdoppelt. Es ist jedoch möglich, eine Differenz der Dicke zwischen den zwei plattierten Schichten herzustellen.

Wenn ein hartes Material für das piezoelektrische Element verwendet wird, so wird eine Verformung in der folgenden Weise bewirkt. In diesem Fall sei das harte Material im folgenden beschrieben. Ein niedriges elektrisches Feld wird in der Umkehrrichtung an das piezoelektrische Element angelegt, welches einmal der Polarisation unterworfen worden ist, und es wird eine dicke Elektrode auf der gegenüberliegenden Seite von der Druckkammer hergestellt, im Gegensatz zu den Beispielen, die in den Fig. 3 und 5 gezeigt sind. Aufgrund der zuvor erläuterten Anordnung wird dann, wenn ein elektrisches Feld angelegt wird, die Dicke des piezoelektrischen Elements reduziert und das Abmaß in einer Richtung senkrecht zu der Polarisation wird vergrößert. Es wird demzufolge eine Verformung verursacht, das heißt das piezoelektrische Element wölbt sich nach außen. Aufgrund des vorhergehend gesagten, wird das Volumen der Druckkammer vergrößert. Wenn die Elektroden kurzgeschlossen sind, um die elektrische Ladung zu beseitigen, wird die Druckkammer elastisch kontrahiert. In diesem Fall ist die elastische Rückführungskraft bei der Anfangsstufe hoch, so daß dieser Typ vorteilhaft ist, wenn eine hohe Beschleunigung erforderlich ist. Dieser Typ ist gut bekannt als ein Freigabety (release type) auf dem Gebiet der elektromagnetischen Antriebsmechanismen.

Fig. 9 zeigt eine schematische Darstellung, die einen Zustand veranschaulicht, bei dem das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1, welches beide Seitenwände der Druckkammer 10 festlegt, durch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) verformt wird, und zwar bei dem zweiten Beispiel, welches in Fig. 5 veranschaulicht ist.

Wenn das plattenförmig gestaltete Verbundteil 1 durch den Zweielement-Effekt verformt wird, wird die Gesamtoberfläche zu einer kugelförmigen Fläche. Jedoch ist eine Fläche (die untere Fläche bei diesem Beispiel) an der stationären Wand 4 befestigt (in Fig. 5 gezeigt). Daher wird, wie in Fig. 9 dargestellt ist, das Zentrum nach innen zu hinexpandiert, so daß die Druckkammer 10 kontrahiert wird. Jedoch wird im Einklang mit einer Erhöhung des Innendruckes auf die Wand eine Kraft in der nach außen gerichteten Richtung ausgeübt, so daß der Rand nach außen vorgedrückt wird. Daher wird der zuvor erwähnte Effekt der Kontraktion vermindert. Zur Verhinderung dieses Verlustes ist es wirkungsvoll, einen Rahmen 16 vorzusehen, wie dies in Fig. 10 veranschaulicht ist, so daß der Randabschnitt daran gehindert wird, nach außen vorzuspringen. Es ist zu bevorzugen, daß die Steifigkeit eines Klebemittel-Agens, um diesen Rahmen 16 mit dem plattenförmig gestalteten Verbundteil 1 zu verbinden, angenähert gleich ist der Steifigkeit des piezoelektrischen Elements. Jedoch ist im Falle eines organischen Klebemittel-Agens die Steifigkeit niedrig, das heißt der longitudinale Elastizitätsmodul liegt im Bereich von 1 bis  $4 \times 10^{10}$  (N/m<sup>2</sup>). Andererseits ist die Steifigkeit von Metall höher als die Steifigkeit des piezoelektrischen Elements, wobei der longitudinale Elastizitätsmodul des piezoelektrischen Elements bei  $60 \times 10^{10}$  (N/m<sup>2</sup>) liegt. Beispielsweise beträgt der longitudinale Elastizitätsmodul von Nickel gleich  $20 \times 10^{10}$  (N/m<sup>2</sup>), was dreimal so hoch ist als der longitudinale Elastizitätsmodul des piezoelektrischen Elements. Aus den oben erläuterten Gründen wird eine Nickel-Plattierung weitläufig verwendet und es gibt verschiedene Techniken, um die Nickelplattierung zu erzeugen. Es ist effektiv die Technik der Nickel-Plattierung zu verwenden, so daß der gleiche Effekt wie derjenige des Rahmens 16 durch die Nickel-Plattierung erzeugt werden kann. Wenn die Nickel-Plattierung gewählt wird, ist es möglich, das Verfahren der elektrofreien Plattierung zu verwenden als auch das Verfahren der elektrolytischen Plattierung anzuwenden. Wenn die gesamte Innenseitenfläche der Druckkammerseite der Plattierung unterworfen wird, ist es möglich, den Rand des Öffnungsabschnitts (Abschnitt C in Fig. 9) daran zu hindern, nach außen vorzuziehen. Es ist daher möglich, nahezu die gesamte Krümmung auszunutzen, die durch den Zweielement-Effekt geschaffen wird.

Die Fig. 11(a) und 11(b) sind Ansichten, die einen Herstellungsprozeß zeigen. Zu Beginn des Herstellungsprozesses werden die Nuten 10 an der Druckkammerseite in dem Block 20 des piezoelektrischen Elements ausgebildet. Auf der oberen Seite ist ein entfernbarer Film 18, beispielsweise ein Resistmaterialfilm aus einem Acrylmaterial, vorgesehen. Eine freigelegte Fläche wird aktiviert, indem ein Vorbehandlungs-Agens aus Palladium aufgebracht wird. Danach werden die Plattierungsschichten 22, 22a mit Hilfe des elektrofreien Plattierungsvorgangs ausgebildet, wie dies in Fig. 11(a) gezeigt ist. Auf diese Weise wird die dicke plattierte Schicht 22 hergestellt. Dann wird der Resistmaterialfilm 18 mit Hilfe eines Lösungsmittels entfernt und die Plattierungsschicht auf der Nutseite des piezoelektrischen Elements wird belassen und es wird die plattierte Schicht 22a außerhalb des Resistfilms gebrochen und entfernt. Danach wird eine Trennungsnut in dem Raum 7 ausgebildet und der Plattierungsvorgang wird erneut durchgeführt. Ferner wird die Oberfläche auf der Betrachterseite und die Oberfläche auf der Seite entgegengesetzt zu der Betrachterseite in der Zeichnung poliert, so daß das piezoelektrische Element freigelegt ist und in der gleichen Weise poliert ist wie im Falle der oberen Fläche. Dann werden die Plattierungsschicht innerhalb der Druckkammer und die Plattierungsschicht außerhalb der Druckkammer (Plattierungsschicht in dem Raum) voneinander getrennt und werden zu unabhängigen Elektroden gemacht. Dann wird die Nut 26 dadurch ausgebildet, indem in die Bodenfläche der Trennungswand eingeschnitten wird, es wird die Außenelektrode in dem Raum 7 von der Außenelektrode auf der gegenüberliegenden Seite getrennt. Es wird demnach möglich, jede Druckkammer 10 unabhängig anzutreiben.

Die Elektrode der benachbarten Einheit kann durch ein anderes Verfahren getrennt werden und der Herstellungsprozeß kann reduziert werden.

Die Fig. 12(a) und 12(b) sind Ansichten, die ein Beispiel des Herstellungsprozesses zeigen, der oben beschrieben wurde. In diesem Fall wird ein piezoelektrischer Block 20 verwendet, in welchem an früherer Stelle eine Nut 28 ausgebildet wurde, die sich in der Querrichtung erstreckt. Diese Nut 28 in der Querrichtung ist auf der unteren Seite der Nut 10 gelegen, die später zu einer Druckkammer wird. In der gleichen Weise, wie diejenige, die in den Fig. 11(a) und 11(b) gezeigt ist, umfassen die Prozesse die Herstellung einer Nut in einer Druckkammer, Beschichten mit einem Resistmaterialfilm, elektrofreies Plattieren, Entfernen des Resistmaterialfilms, Ausbilden einer getrennten Nut in dem Raum 7 und Plattieren. Wenn in diesem Fall die Trennungsnut, die in dem Raum 7 auszubilden ist, hergestellt wird, wird die Tiefe der Trennungsnut derart bestimmt, daß die Tiefe an einer Position positioniert werden kann, die niedriger liegt als der strichlierte Abschnitt 30, der dazu verwendet wird, um jede Einheit in dem späteren Prozeß zu trennen. Nach der Vervollständigung des Plattierungsvorganges werden die innenseitige und die außenseitige Elektrode der Druckkammer 10 voneinander durch Lappen voneinander getrennt. Das Äußere der Druckkammer, das heißt beide Flächen dieser Trennungsnut

7, sind miteinander durch die Plattierungsschicht verbunden. Nachdem die Düsenplatte 11 (in Fig. 4 gezeigt) an das plattenförmig gestaltete Verbundteil angefügt worden ist, wird dieser piezoelektrische Block 20 an der strichlierten Linie 30 geschnitten. In diesem Fall kann dieser piezoelektrische Block 20 gebogen und an der strichlierten Linie 30 gebrochen werden. Dann wird der piezoelektrische Block von jeder Einheit getrennt und es wird die Elektrode für jede Einheit getrennt. Aufgrund des vorhergehend gesagten ist es möglich, die Probleme der Interferenz zu lösen, die durch die mechanisch Oszillation zwischen den Einheiten verursacht wird, die einander benachbart sind. Das heißt, es können die Probleme, die in dieser Vielfacheinheit verursacht werden, gelöst werden.

Die Fig. 13(a) bis 13(d) sind Ansichten, die ein Herstellungsverfahren zeigen, bei welchem der Herstellungsprozeß rationalisiert wird. Gemäß diesem Herstellungsverfahren wird die Verarbeitung in der folgenden Weise durchgeführt. Zuerst wird die Nut 10 in einer Druckkammer ausgebildet und die Nut 7, die in einem Raum auszubilden ist, wird in dem piezoelektrischen Block 20 hergestellt. Der Resistmaterialfilm 18 wird dazu gebracht, an einer oberen Fläche anzuhalten. Die gesamte Innenfläche der Nut wird einer Plattierung unterzogen, so daß ein dünnes Substrat 32 hergestellt werden kann (in Fig. 13(a) gezeigt). Als nächstes wird die Nut, die in einer Druckkammer auszubilden ist, mit Wachs 34 gefüllt (in Fig. 13(b) gezeigt). Ferner wird die gesamte Fläche mit einem Plattierungsresistmaterial 36 bedeckt. Dies wird zu dem Zweck ausgeführt, um eine Plattierungsschicht daran zu hindern, auf dem Abschnitt niedergeschlagen zu werden, der mit dem Resistmaterial bedeckt ist (in Fig. 13(c) gezeigt). Als nächstes wird die Endfläche der Nut freigelegt und es wird die Füllung 13, wie beispielsweise das Wachs, welches in die Nut gefüllt wurde, die in einer Druckkammer auszubilden ist, dadurch entfernt, indem diese mit Hilfe eines Lösungsmittels aufgelöst wird, so daß die Innenfläche der Nut freigelegt wird und dann der Plattierungsvorgang an der Innenfläche der Nut ausgeführt werden kann, um dadurch eine dicke Plattierungsschicht 38 auszubilden (in Fig. 13(d) gezeigt). In diesem Zusammenhang wird, nachdem die dicke Plattierungsschicht 38 vorgesehen worden ist, das Resistmaterial 36 endgültig entfernt. Aufgrund des vorhergehend gesagten, wird die Innenfläche der Druckkammer mit der dicken Plattierungsschicht bedeckt und das Äußere wird mit der dünnen Plattierungsschicht bedeckt, das heißt es wird möglich, eine Druckkammer herzustellen, die durch den Zweielement-Effekt verformt werden kann.

Die Fig. 14(a) bis 14(d) sind Ansichten, die einen Herstellungsverfahren zeigen, bei welchem die Elektroplattierung angewendet wird. Der in den Fig. 14(a) bis 14(c) gezeigte Prozeß ist der gleiche wie derjenige, der in den Fig. 13(a) bis 13(c) gezeigt ist. Nachdem bei diesem Beispiel die Füllung 34, wie beispielsweise Wachs, welches in die Nut gefüllt wurde, die in der Druckkammer auszubilden ist, mit Hilfe des Lösungsmittels aufgelöst und entfernt wurde, ist die Innenfläche der Nut freigelegt und es wird das Elektroplattieren an der Innenfläche der Nut durchgeführt, um eine dicke Plattierungsschicht 40 zu erzeugen (in Fig. 14(d) gezeigt). Aufgrund des vorhergehend gesagten, wird die Innenfläche der Druckkammer mit der dicken Plattierungsschicht bedeckt und das Äußere wird mit der dünnen Plattierungsschicht bedeckt, das heißt es wird möglich, eine Druckkammer herzustellen, die durch den Zweielement-Effekt verformt werden kann. In diesem Beispiel wird die Elektroplattierung als Herstellungsverfahren verwendet. Daher ist die Dicke der Plattierungsschicht an der Ecke der Nut, die in einer Druckkammer auszubilden ist, klein und die Dicke der Plattierungsschicht an dem Zentrum der Seite der Nut ist groß. Aufgrund des vorhergehend gesagten, kann der Verformungswiderstand der Plattierungsschicht, die an der Ecke ausgebildet ist, welche den durch den Zweielement-Effekt verursachten Biegevorgang blockiert, reduziert werden.

Fig. 15 ist eine vergrößerte Ansicht der Plattierungsschicht, die an der Innenfläche der Nut vorgesehen ist, welche in einer Druckkammer auszubilden ist und welche mit Hilfe des Verfahrens gemäß dem oben beschriebenen Beispiel hergestellt wurde. Das heißt, Fig. 15 ist eine vergrößerte Ansicht der Innenfläche der Nut, von der das Resistmaterial endgültig entfernt worden ist. Die Dicke der dicken plattierten Schicht 40, die an der Ecke (oberen Abschnitt) mit Hilfe des Elektroplattierungsvorganges ausgebildet wurde, ist geringer als diejenige am Zentrum, so daß der Verformungswiderstand an der Ecke reduziert werden kann und die Dicke des Abschnitts, der in Kontakt mit dem piezoelektrischen Element kommt, um den Zweielement-Effekt zu erzeugen, wird erhöht.

#### Patentansprüche

1. Tintenstrahlkopf, mit:  
einer Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind;  
einer Tintenzuführeinrichtung zum Zuführen von Tinte in diese Druckkammern; und  
einer Tintenausstoßeinrichtung zum Ausstoßen der Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse, wobei Tinte durch eine Volumenänderung von jeder Druckkammer zugeführt und ausgestoßen wird, wobei wenigstens eine der Wände, welche die Druckkammer bilden und welche senkrecht zu der Anordnungsrichtung der Vielzahl der Druckkammern angeordnet ist, aus einem plattenförmig gestalteten Verbundteil zusammengesetzt ist, bei dem ein aus einem piezoelektrischen Element hergestellter aktivierter Abschnitt, der durch das Aufdrücken einer Spannung verformt wird, an einen nichtaktivierten Abschnitt angefügt ist, der aus einem Material verschieden von dem Material des aktivierten Abschnitts hergestell ist, wobei der nicht-aktivierte Abschnitt eine Elektrode enthält, um eine Spannung dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt aufzudrücken und wobei das plattenförmig gestaltete Verbundteil eine Volumenänderung von jeder Druckkammer bewirkt, wenn es durch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) gekrümmt und verformt wird, der zwischen dem aktivierten Abschnitt und dem nichtaktivierten Abschnitt erzeugt wird.
2. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 1, bei dem ein Verhältnis aus der Dicke  $h_1$  (m) des aktivierten Abschnitts, der das plattenförmig gestaltete Verbundteil bildet, zu der Dicke  $h_2$  (m) des nicht-aktivierten Abschnitts, der aus einem von dem Material des aktivierten Abschnitts verschiedenen Material hergestell ist, den Ausdruck befriedigt,  $0,3 \leq h_1/h_2 \leq 0,8$ , und bei dem ein Verhältnis aus dem longitudinalen Elastizitätsmodul  $E_1$  (N/m<sup>2</sup>) des aktivierten Abschnitts zu dem longitudinalen Elastizitätsmodul  $E_2$  (N/m<sup>2</sup>) des nicht-aktivierten Abschnitts den Ausdruck  $E_1 \leq E_2$  befriedigt.
3. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Druckkammer folgendes enthält: ein plattenförmig gestaltetes

iertes Verbundteil, welches wenigstens eine Wand bildet; eine gegenüberliegende Wand, die dem plattenförmig gestalteten Verbundteil parallel gegenüberliegt; eine stationäre Wand, um eine Seite des Druckkammerraumes dicht zu verschließen, der durch das plattenförmig gestaltete Verbundteil und die gegenüberliegende Wand festgelegt ist; und ein Verbindungsteil, um die andere Seite des Druckkammerraumes dicht zu verschließen.

4. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 3, bei dem der folgende Ausdruck befriedigt wird:

$$\min(E_1 \cdot h_1^2/\gamma_1 \cdot L^4, E_2 \cdot h_2^2/\gamma_2 \cdot L^4) \geq 345 \cdot x^2$$

worin der longitudinale Elastizitätsmodul des aktivierten Abschnitts, der das plattenförmig gestaltete Verbundteil bildet,  $E_1$  (N/m<sup>2</sup>) ist, die Dichte  $\gamma_1$  (kg/m<sup>3</sup>) ist, der longitudinale Elastizitätsmodul des nicht-aktivierten Abschnitts, der aus einem von dem Material des aktivierten Abschnitts verschiedenen Material hergestellt ist, gleich  $E_2$  (N/m<sup>2</sup>) ist, die Dichte gleich  $\gamma_2$  (kg/m<sup>3</sup>) ist, die Länge von der stationären Wand zu dem Verbindungsteil in der Richtung von  $d_{31}$  des piezoelektrischen Elements  $L$  (m) ist, die Dicke des aktivierten Abschnitts gleich  $h_1$  (m) ist, die Dicke des nicht-aktivierten Abschnitts gleich  $h_2$  (m) ist und die Periode des Tintenausstoßes gleich  $x$  (Hz) ist, wobei in diesem Zusammenhang die Funktion  $\min(x, y)$  den minimalen Wert von  $x$  und  $y$  ausdrückt.

5. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 3, bei dem der folgende Ausdruck befriedigt ist:

$$L^5 \cdot b/h^3 \leq (4 \times 10^{-18}) \cdot E_1$$

worin der longitudinale Elastizitätsmodul des aktivierten Abschnitts, der aus dem plattenförmig gestalteten Verbundteil gebildet ist, gleich  $E_1$  (N/m<sup>2</sup>) ist, die Länge der stationären Wand des Verbindungsteiles in der Richtung von  $d_{31}$  des piezoelektrischen Elements gleich  $L$  (m) ist, die Dicke des plattenförmig gestalteten Verbundteiles, welches aus dem aktivierten und dem nicht-aktivierten Abschnitt gebildet ist, gleich  $h$  (m) ist, und die Tiefe der Druckkammer in der Richtung senkrecht zu den beiden Richtungen gemäß der Länge  $L$  (m) und der Dicke  $h$  (m) gleich  $b$  (m) ist.

6. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 3, bei dem ein Klebeteil, dessen Material verschieden von den Materialien des plattenförmig gestalteten Verbundteiles, der gegenüberliegenden Wand und des Verbindungsteiles ist, zum Verbinden dieser Teile verwendet ist und bei dem die folgenden Ausdrücke befriedigt werden:

$$1,0 \times 10^9 \leq E_4 \leq 10,0 \times 10^9$$

$$10 \leq h_4 \leq 100$$

worin der longitudinale Elastizitätsmodul des Klebeteiles gleich  $E_4$  (N/m<sup>2</sup>) ist und die Dicke  $h_4$  (µm) ist.

7. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 6, bei dem ein Klebemittel oder ein Trockenfilm-Resistmaterial als Klebeteil verwendet ist.

8. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 2, bei dem das gesamte Verbindungsteil von dem Verbindungsteil der benachbarten Druckkammer getrennt ist oder alternativ ein Abschnitt des Verbindungsteiles von dem Verbindungsteil der benachbarten Druckkammer getrennt ist.

9. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 1, bei dem der nicht-aktivierte Abschnitt aus einem Leiter mit einer Elektrode besteht.

10. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 2, bei dem die stationäre Wand ebenfalls aus dem gleichen piezoelektrischen Element gebildet ist wie dasjenige des aktivierten Abschnitts, der das plattenförmig gestaltete Verbundteil bildet.

11. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 10, bei dem der aktivierte Abschnitt, welcher das plattenförmig gestaltete Verbundteil und die stationäre Wand bildet, aus einem integrierten piezoelektrischen Block durch einen Schneidvorgang hergestellt ist.

12. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 11, bei dem die Länge  $L$  (m) von der stationären Wand zu dem Verbindungsteil in der Richtung von  $d_{31}$  des aktivierten Abschnitts den folgenden Ausdruck befriedigt:

$$300 \times 10^{-6} \leq L \leq 700 \times 10^{-6}$$

13. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 11, bei dem die dicke  $h_1$  (m) des aktivierten Abschnitts den folgenden Ausdruck befriedigt:

$$20 \times 10^{-6} < h_1 < 80 \times 10^{-6}$$

14. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 1, bei dem die Elektrode, um dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt eine Spannung aufzudrücken, durch das Durchführen eines Plattierungsvorganges auf dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt hergestellt ist.

15. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 1, bei dem die Elektrode, um dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt eine Spannung aufzudrücken, durch Ausführen eines Dampfniederschlagsvorganges auf dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt hergestellt ist.

16. Tintenstrahlkopf, mit:

einer Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind;

einer Tintenzuführeinrichtung, um Tinte in diesem Druckkammern zuzuführen; und

einer Tintenausstoßeinrichtung, um Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse auszustoßen, wobei die Tinte durch eine Änderung in dem Volumen von jeder Druckkammer zugeführt und ausgestoßen wird, die Druckkammer ein Paar von plattenförmig gestalteten Verbundteil enthält, die einander gegenüberliegen und senkrecht zu der An-



ordnungsrichtung der Vielzahl der Druckkammern angeordnet sind, wobei die Druckkammer durch das Paar der plattenförmig gestalteten Verbundteile festgelegt ist und jedes plattenförmig gestaltete Verbundteil aus einem aktivierten Abschnitt eines piezoelektrischen Elements gebildet ist, welches durch Aufdrücken einer Spannung verformt wird und auch durch einen nicht-aktivierten Abschnitt gebildet ist, der aus einem von dem Material des aktivierten Abschnitts verschiedenen Material gebildet ist, wobei der nicht-aktivierte Abschnitt eine Elektrode enthält, durch die eine Spannung dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt aufgedrückt wird, das plattenförmig gestaltete Verbundteil durch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) gekrümmt und verformt wird, welcher Effekt zwischen dem aktivierten Abschnitt und dem nicht-aktivierten Abschnitt hervorgerufen wird, und wobei die Verformung von einem der plattenförmig gestalteten Verbundteile entgegengesetzt zu der Verformung des anderen der plattenförmig gestalteten Verbundteile verläuft, um dadurch eine Volumenänderung von jeder Druckkammer zu erzeugen.

17. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 16, bei dem ein Raum zwischen der Druckkammer, die zwischen dem Paar der sich gegenüberliegenden plattenförmig gestalteten Verbundteile ausgebildet ist und der benachbarten Druckkammer festgelegt ist.

18. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 16, bei dem ein Verhältnis aus der Dicke  $h_1$  (m) des aktivierten Abschnitts, der das plattenförmig gestaltete Verbundteil bildet, zu der Dicke  $h_2$  (m) des nicht-aktivierten Abschnitts, der aus einem von dem Material des aktivierten Abschnitts verschiedenen Material hergestellt ist, den Ausdruck befriedigt,  $0,3 \leq h_2/h_1 \leq 0,8$ , und bei dem ein Verhältnis aus dem longitudinalen Elastizitätsmodul  $E_1$  (N/m<sup>2</sup>) des aktivierten Abschnitts zu dem longitudinalen Elastizitätsmodul  $E_2$  (N/m<sup>2</sup>) des nicht-aktivierten Abschnitts den Ausdruck  $E_1 \leq E_2$  befriedigt.

19. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 16, bei dem die Druckkammer aufweist: ein Paar von plattenförmig gestalteten Verbundteilen; eine stationäre Wand, um eine Seite der Druckkammer, die durch das Paar der plattenförmig gestalteten Verbundteile festgelegt ist, dicht zu verschließen; und ein Verbindungsteil, um die andere Seite der Druckkammer dicht zu verschließen.

20. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 19, bei dem der folgende Ausdruck befriedigt wird:

$$\min(E_1 \cdot h_1^2/\gamma_1 \cdot L^4, E_2 \cdot h_2^2/\gamma_2 \cdot L^4) \geq 345 \cdot x^2$$

worin der longitudinale Elastizitätsmodul des aktivierten Abschnitts, der das plattenförmig gestaltete Verbundteil bildet, gleich  $E_1$  (N/m<sup>2</sup>) ist, die Dichte  $\gamma_1$  (kg/m<sup>3</sup>) ist, der longitudinale Elastizitätsmodul des nicht-aktivierten Abschnitts, der aus einem von dem Material des aktivierten Abschnitts verschiedenen Material hergestellt ist, gleich  $E_2$  (N/m<sup>2</sup>) ist, die Dichte gleich  $\gamma_2$  (kg/m<sup>3</sup>) ist, die Länge von der stationären Wand zu dem Verbindungsteil in der Richtung von  $d_{31}$  des piezoelektrischen Elements gleich  $L$  (m) ist, die Dicke des aktivierten Abschnitts gleich  $h_1$  (m) ist, die Dicke des nicht-aktivierten Abschnitts gleich  $h_2$  (m) ist und die Periode des Tintenausstoßes gleich  $x$  (Hz) ist, wobei in diesem Zusammenhang die Funktion  $\min(x, y)$  den minimalen Wert von  $x$  und  $y$  ausdrückt.

21. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 19, bei dem der folgende Ausdruck befriedigt wird:

$$L^5 \cdot b/h^3 \leq (4 \times 10^{-18}) \cdot E_1$$

worin der longitudinale Elastizitätsmodul des aktivierten Abschnitts, der das plattenförmig gestaltete Verbundteil bildet, gleich  $E_1$  (N/m<sup>2</sup>) ist, die Länge der stationären Wand des Verbindungsteiles in der Richtung von  $d_{31}$  des piezoelektrischen Elements gleich  $L$  (m) ist, die Dicke des plattenförmig gestalteten Verbundteiles, welches aus dem aktivierten und dem nicht-aktivierten Abschnitt zusammengesetzt ist, gleich  $h$  (m) ist, und die Tiefe der Druckkammer in der Richtung senkrecht zu den beiden Richtungen gemäß der Länge  $L$  (m) und der Dicke  $h$  (m) gleich  $b$  (m) ist.

22. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 19, bei dem ein Klebeteil, dessen Material von den Materialien des Paares der plattenförmig gestalteten Verbundteile und des Verbindungsteiles verschieden ist, zum Verbinden dieser Teile verwendet ist und bei dem die folgenden Ausdrücke befriedigt werden:

$$1,0 \times 10^9 \leq E_4 \leq 10,0 \times 10^9$$

$$10 \leq h_4 \leq 100$$

worin der longitudinale Elastizitätsmodul des Klebeteiles gleich  $E_4$  (N/m<sup>2</sup>) ist und die Dicke  $h_4$  (µm) ist.

23. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 22, bei dem ein Klebemittel oder ein Trockenfilm-Resistmaterial als Klebeteil verwendet ist.

24. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 19, bei dem das gesamte Verbindungsteil von dem Verbindungsteil der benachbarten Druckkammer getrennt ist oder alternativ ein Abschnitt des Verbindungsteiles von dem Verbindungsteil der benachbarten Druckkammer getrennt ist.

25. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 19, bei dem der nicht-aktivierte Abschnitt aus einem Leiter, der eine Elektrode enthält, gebildet ist.

26. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 19, bei dem die stationäre Wand ebenfalls aus dem gleichen piezoelektrischen Element gebildet ist wie dasjenige des aktivierten Abschnitts, der das plattenförmig gestaltete Verbundteil bildet.

27. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 26, bei dem der aktivierte Abschnitt, welcher das Paar der plattenförmig gestalteten Verbundteile bildet, und die stationäre Wand aus einem integrierten piezoelektrischen Block durch Ausbilden einer Nut hergestellt sind.

28. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 27, bei dem die Länge  $L$  (m) von der stationären Wand zu dem Verbindungsteil in der Richtung  $d_{31}$  des aktivierten Abschnitts den folgenden Ausdruck befriedigt:

$$300 \times 10^{-6} \leq L \leq 700 \times 10^{-6}$$

29. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 27, bei dem die Dicke  $h_1$  (m) des aktivierten Abschnitts den folgenden Ausdruck befriedigt:

$$20 \times 10^{-6} \leq h_1 \leq 80 \times 10^{-6}$$

30. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 16, bei dem die Elektrode, um dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt eine Spannung aufzudrücken, durch das Ausführen eines Plattierungsvorganges auf dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt gebildet ist.

31. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 16, bei dem die Elektrode, um dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt eine Spannung aufzudrücken, durch Ausführen eines Dampfniederschlagsprozesses auf dem piezoelektrischen Element in dem aktivierten Abschnitt gebildet ist.

32. Tintenstrahlkopf, mit:

einer Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind;

einer Tintenzuführeinrichtung, um Tinte in diese Druckkammern zuzuführen; und

einer Tintenausstoßeinrichtung, um Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse auszustoßen, wobei Tinte durch eine Änderung in dem Volumen von jeder Druckkammer zugeführt und ausgestoßen wird, wobei eine stationäre Wand parallel zur Anordnungsrichtung der Vielzahl der Druckkammern und ein Paar der Seitenwände, die einander gegenüberliegen und senkrecht zu der stationären Wand verlaufen, durch ein integriertes bzw. einstückiges Teil gebildet sind, welches aus einem piezoelektrischen Element besteht, ein Film des nicht-aktivierten Abschnitts, der eine Elektrode enthält, an die Flächen des Paares der Seitenwände angefügt ist, die in dem aktivierten Abschnitt auszubilden sind, so daß ein Paar der plattenförmig gestalteten Verbundteile gebildet werden, ein Raum der Druckkammer durch die stationäre Wand und das Paar der plattenförmig gestalteten Verbundteile festgelegt ist, ein Raum zwischen der Druckkammer und der benachbarten Druckkammer festgelegt ist, jedes plattenförmig gestaltete Verbundteil durch den Zweielement-Effekt (bimorph effect) gekrümmt und verformt wird, der zwischen dem Film des aktivierten Abschnitts und dem Film des nicht-aktivierten Abschnitts hervorgerufen wird und wobei die auf diese Weise hervorgerufene Verformung in der entgegengesetzten Richtung in bezug auf die zwei plattenförmig gestalteten Verbundteile, die einander gegenüberliegen, bewirkt bzw. aktiviert wird, um eine Volumenänderung von jeder Druckkammer zu erzeugen.

33. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 32, bei dem der Wert von  $h_2 E_2 / h_1 E_1$  nicht kleiner ist als 0,05, wobei  $h_1$  eine Dicke des aktivierten Abschnitts ist, welcher den plattenförmig gestalteten Verbundkörper bildet,  $h_2$  eine Dicke des nicht-aktivierten Abschnitts ist,  $E_1$  ein longitudinaler Elastizitätsmodul des aktivierten Abschnitts ist und  $E_2$  ein longitudinaler Elastizitätsmodul des nicht-aktivierten Abschnitts ist.

34. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 32, bei dem ein erster Metallfilm auf einer Fläche von einer des Paares der Seitenwände ausgebildet ist, so daß der erste Metallfilm als eine nicht-aktivierte Schicht verwendet wird, ein zweiter Metallfilm, dessen Dicke verschieden ist von derjenigen des ersten Metallfilms, auf der anderen des Paares der Seitenwände ausgebildet ist, so daß der zweite Metallfilm als eine nicht-aktivierte Schicht verwendet wird und ein Zweielement-Effekt (bimorph effect) zwischen der aktivierten Schicht des piezoelektrischen Elements und der nicht-aktivierten Schicht durch die Dickendifferenz zwischen den beiden nicht-aktivierten Schichten erzeugt wird.

35. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 34, bei dem die Dicke der nicht-aktivierten Schicht, die innerhalb der Druckkammer ausgebildet ist, groß ausgeführt ist und die Dicke der nicht-aktivierten Schicht, die außerhalb der Druckkammer vorgesehen ist, klein ausgeführt ist und bei dem ein Volumen der Druckkammer dadurch vermindert wird, indem eine elektrische Ladung zwischen die beiden nicht-aktivierten Schichten injiziert wird.

36. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 34, bei dem die Dicke der nicht-aktivierten Schicht, die an der Innenseite der Druckkammer vorgesehen ist, klein ausgeführt ist, und die Dicke der nicht-aktivierten Schicht, die außerhalb der Druckkammer vorgesehen ist, groß ausgeführt ist, so daß das Volumen der Druckkammer vergrößert wird, indem eine elektrische Ladung zwischen die beiden nicht-aktivierten Schichten injiziert wird.

37. Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes, der ausgestattet ist mit:

einer Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind;

einer Tintenzuführeinrichtung zum Zuführen von Tinte in diese Druckkammern; und

einer Tintenausstoßeinrichtung, um Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse auszustoßen, um Tinte durch Ändern des Volumens von jeder Druckkammer zuzuführen und auszustoßen.

wobei das Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes die folgenden Schritte umfaßt:

Ausbilden eines ersten Metallfilms auf wenigstens einer Wand, die eine Druckkammer bildet, senkrecht zu der Anordnungsrichtung der Vielzahl der Druckkammern, wobei die Wand eine Wand des piezoelektrischen Elements ist, welches verformt wird, wenn eine Spannung aufgedrückt wird;

Freilegen des piezoelektrischen Elements durch Bearbeiten von einer der Flächen der Wand, auf der Metall angebracht wurde; und

Ausbilden eines zweiten Metallfilms auf der freigelegten Fläche, wodurch Metallfilme, deren Dicken verschieden voneinander sind, auf beiden Oberflächen der Wand des piezoelektrischen Elements ausgebildet werden.

38. Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes, der ausgestattet ist mit:

einer Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind;

einer Tintenzuführeinrichtung zum Zuführen von Tinte in diese Druckkammern; und

einer Tintenausstoßeinrichtung zum Ausstoßen der Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse, um Tinte durch Ändern des Volumens in jeder Druckkammer zuzuführen und auszustoßen.

wobei das Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes die folgenden Schritte umfaßt:

Ausbilden einer Vielzahl von parallelen Nuten, durch die die Druckkammer festgelegt wird, an dem Block des piezoelektrischen Elements;

Ausführen eines ersten Plattierungsvorganges an der Innenseite der Nuten;

Ausbilden einer Vielzahl von Nuten, durch die ein Raum festgelegt wird, und zwar zwischen den Nuten, um die Druckkammer festzulegen; und

Ausführen eines zweiten Plattierungsvorganges auf der Innenseite der Nuten, wodurch Metallfilme, deren Dicken voneinander verschieden sind, auf beiden Oberflächen der Wand der Druckkammer ausgebildet werden.

39. Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes nach Anspruch 38, bei dem nach der Herstellung der Nuten, um die Druckkammer festzulegen, zur Verhinderung, daß die obere Fläche des Blockes des piezoelektrischen Elements plattiert wird, die Nuten mit einer Abdeckung bedeckt werden, die später entfernt wird, wobei der erste Plattierungsvorgang durchgeführt wird und nach der Vervollständigung des ersten Plattierungsvorganges die Abdeckung entfernt wird.

40. Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes nach Anspruch 38, bei dem ferner kleine Rillen in den Nuten ausgebildet werden, um nach der Vervollständigung des zweiten Plattierungsvorganges den Kammerraum festzulegen, um die Einheit von der benachbarten Einheit elektrisch abzutrennen.

41. Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes, der ausgestattet ist mit: einer Vielzahl von Druckkammern, die fortlaufend angeordnet sind; einer Tintenzuführeinrichtung zum Zuführen von Tinte in diese Druckkammern; und einer Tintenausstoßeinrichtung zum Ausstoßen der Tinte aus jeder Druckkammer über eine Düse, um Tinte durch Ändern des Volumens in jeder Druckkammer zuzuführen und auszustoßen.

wobei das Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes die folgenden Schritte umfaßt:

Ausbilden einer ersten Nut, um die Druckkammer in dem piezoelektrischen Block festzulegen, und Ausbilden einer zweiten Nut, um einen Kammerraum festzulegen, wobei die erste und die zweite Nut abwechselnd und parallel zu einander ausgebildet werden;

Plattieren der ersten und der zweiten Nut, wobei die Dicke der Plattierungsschicht klein ist;

Füllen von einer der ersten und zweiten Nuten mit einem entfernbaren Füllmittel;

Bedecken der gesamten Oberfläche mit einem Resistmaterial;

Entfernen des Füllmaterials; und

Plattieren der ersten und der zweiten Nut, wobei die Dicke der Plattierungsschicht groß ist, so daß Metallfilme unterschiedlicher Dicke auf beiden Oberflächen der Seitenwand der Druckkammer ausgebildet werden.

42. Verfahren zur Herstellung eines Tintenstrahlkopfes nach Anspruch 41, bei dem ein Elektroplattierungsvorgang an wenigstens einem Abschnitt des Plattierungsprozesses durchgeführt wird, bei welchem eine dicke Metallschicht ausgebildet wird, so daß die Dicke der Plattierungsschicht an dem Randabschnitt der Seitenwand der Druckkammer kleiner ist als die Dicke der Plattierungsschicht am Zentrum.

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

Fig.1

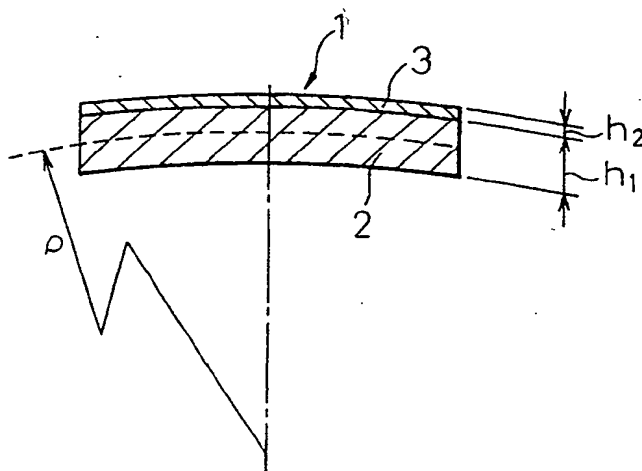


Fig.2

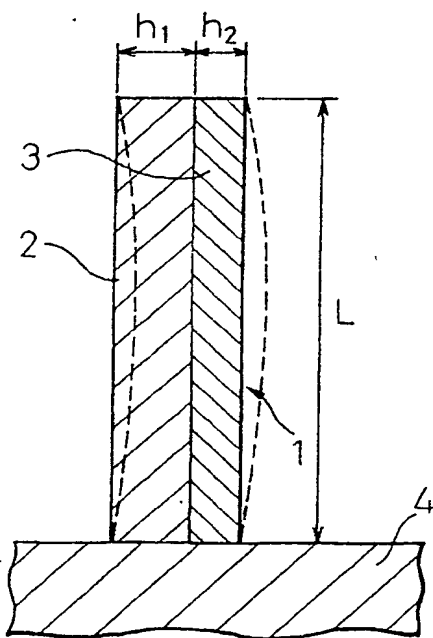


Fig. 3

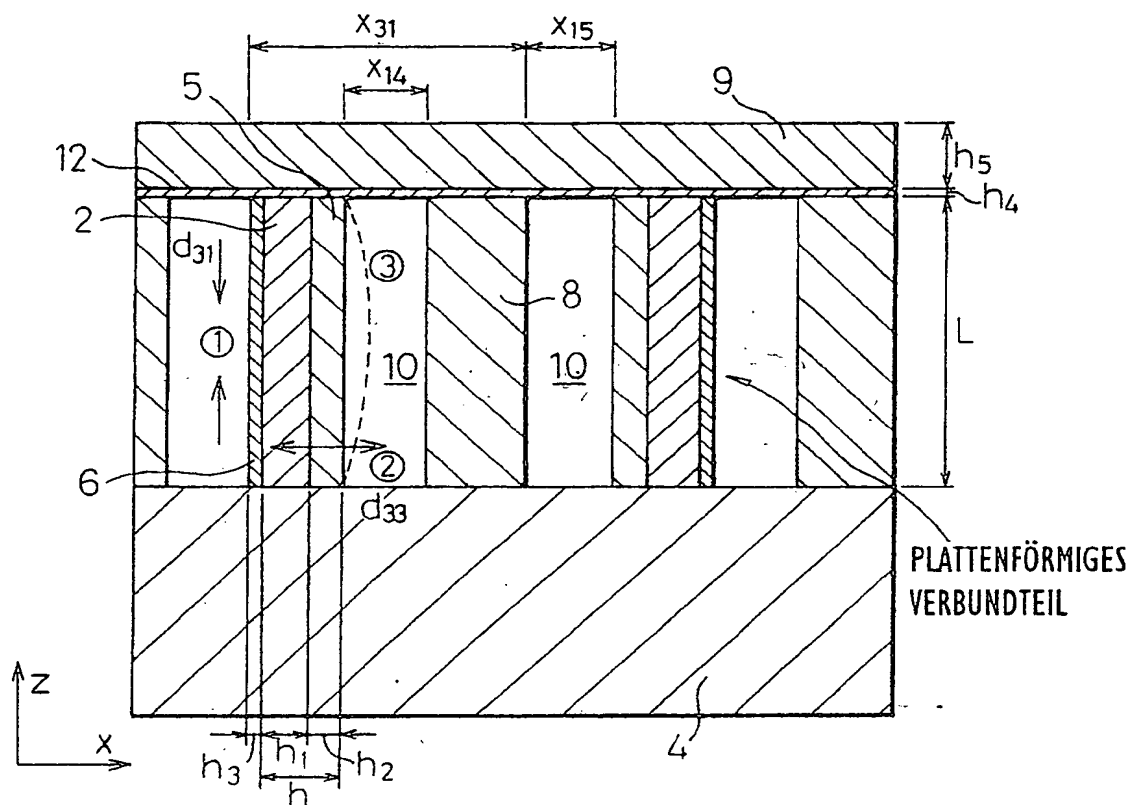


Fig. 4

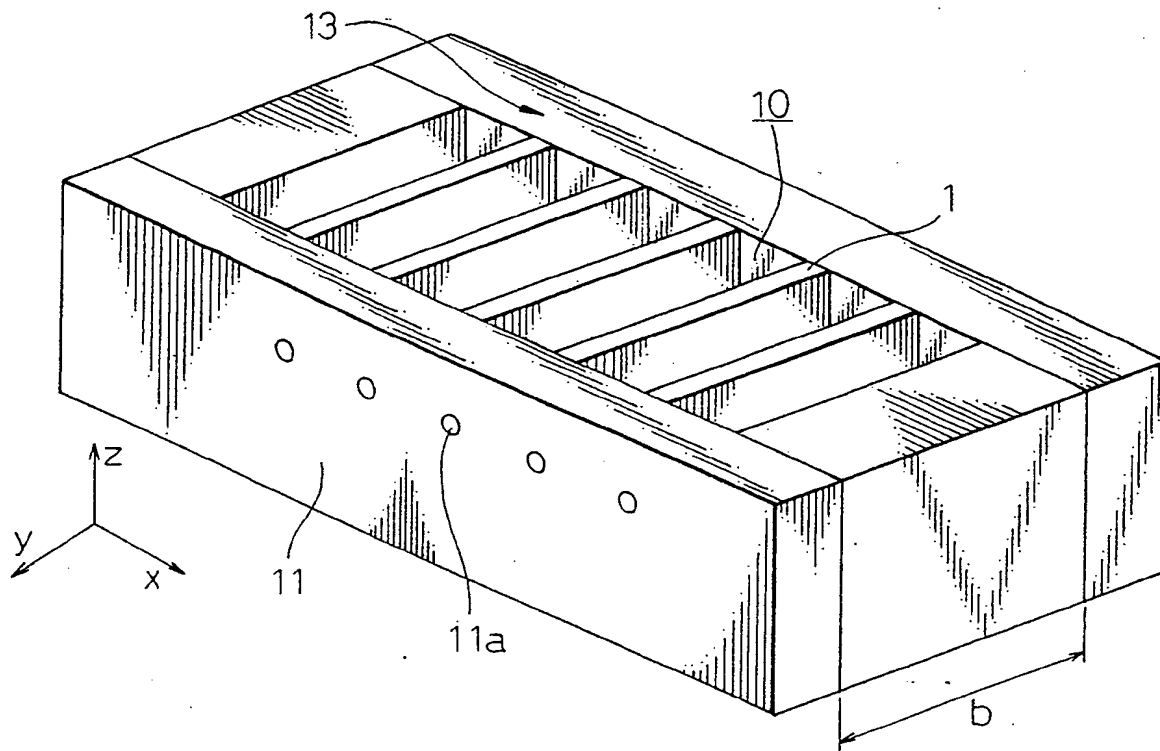


Fig. 5

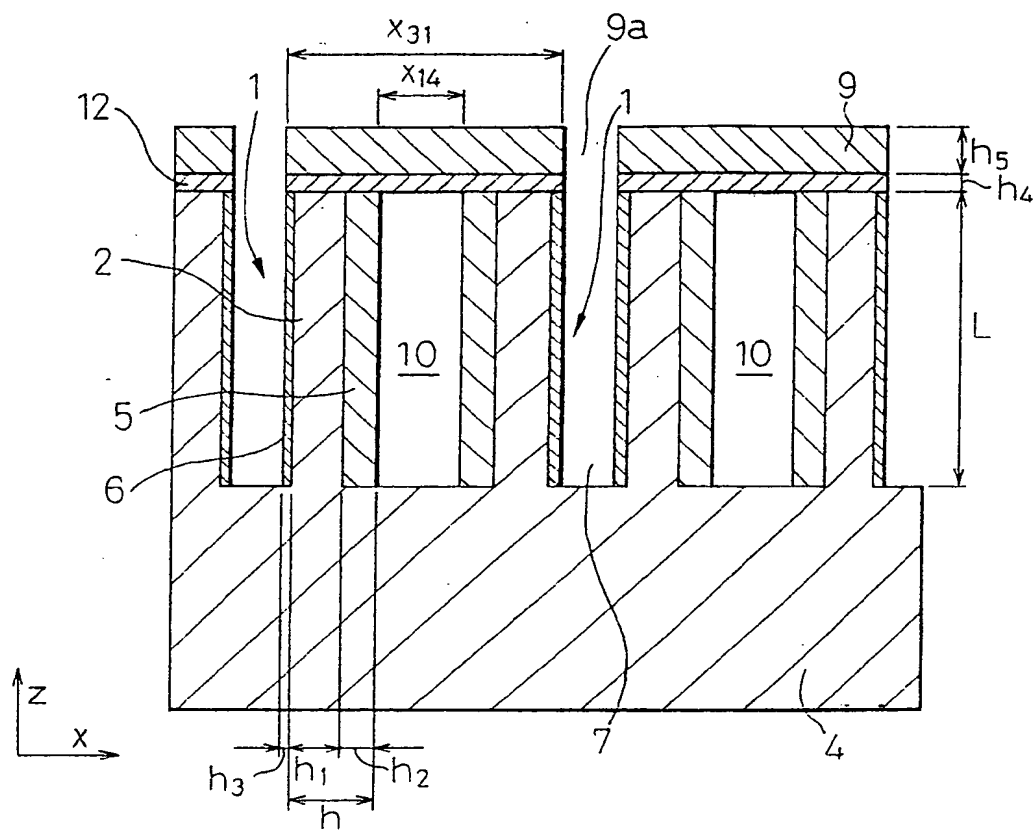


Fig. 6

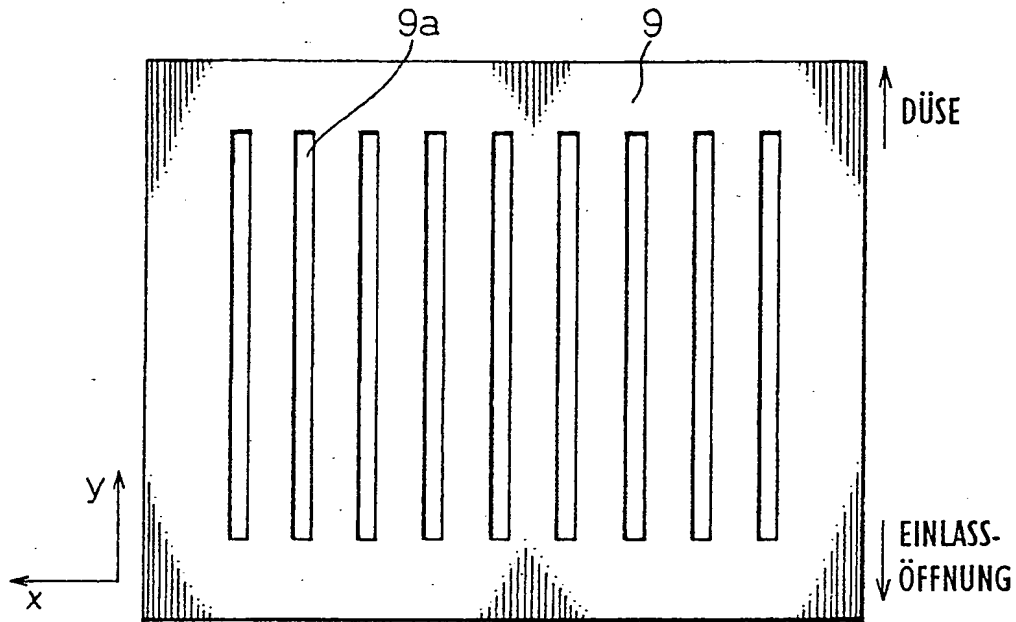




Fig.7(a)

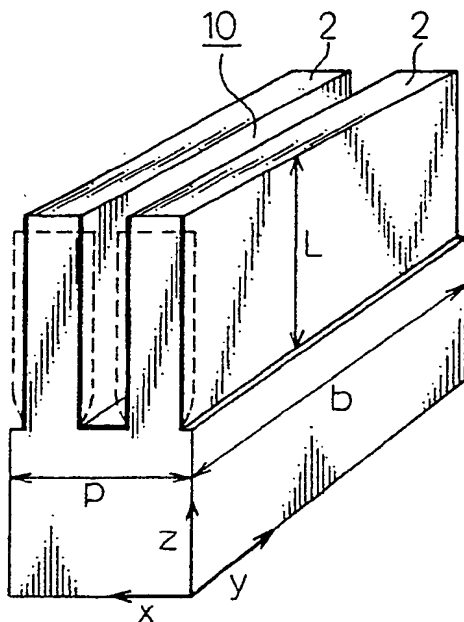


Fig.7(b)

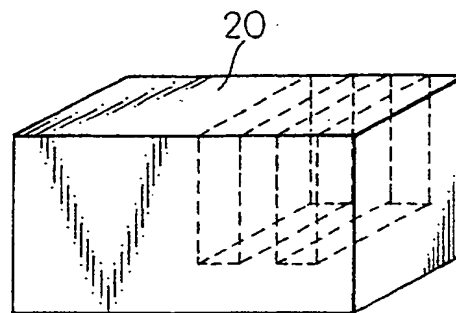


Fig.8

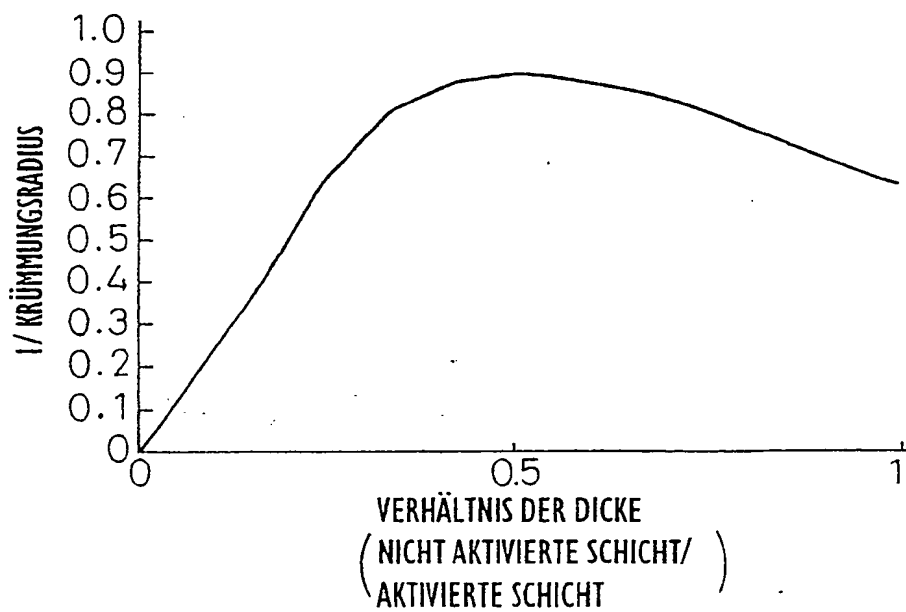


Fig.9

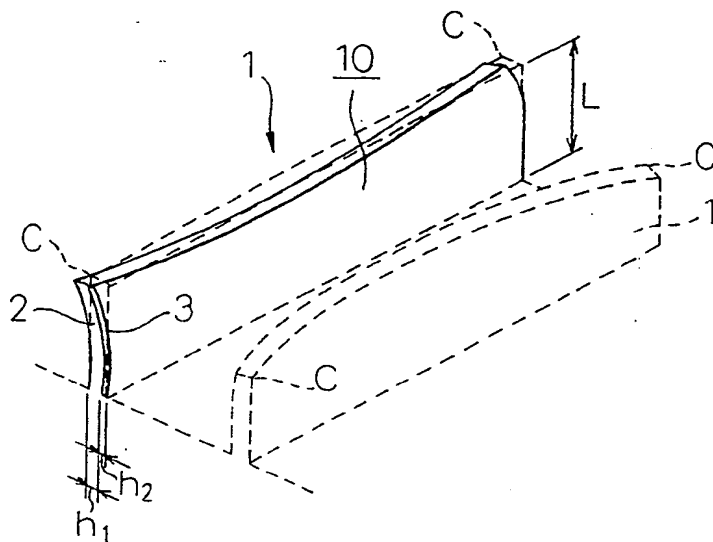


Fig.10

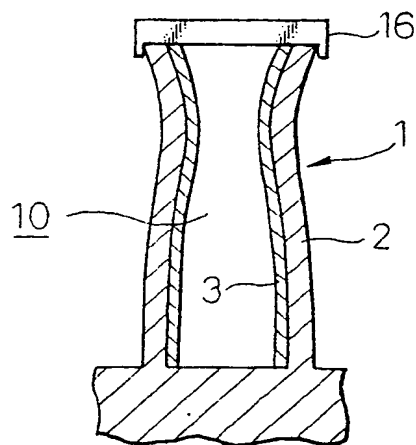


Fig.11(b)

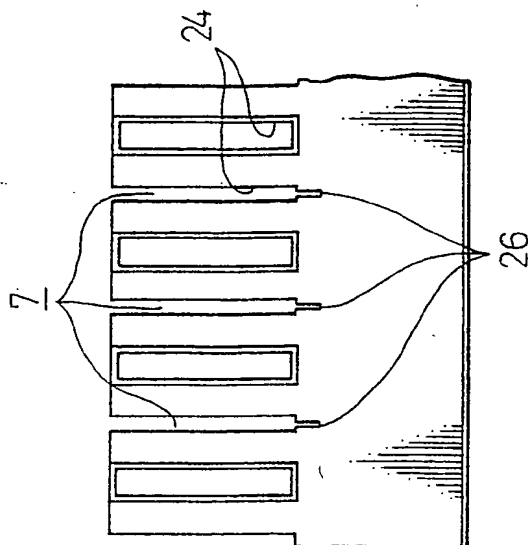


Fig.11(a)

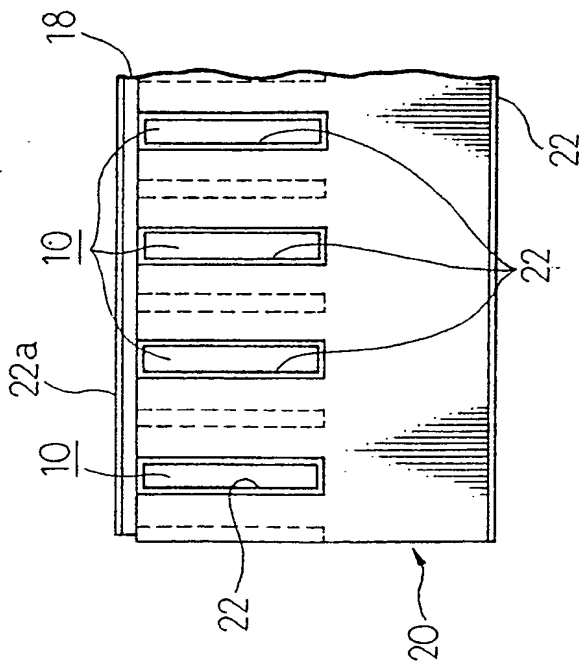


Fig.12(a)

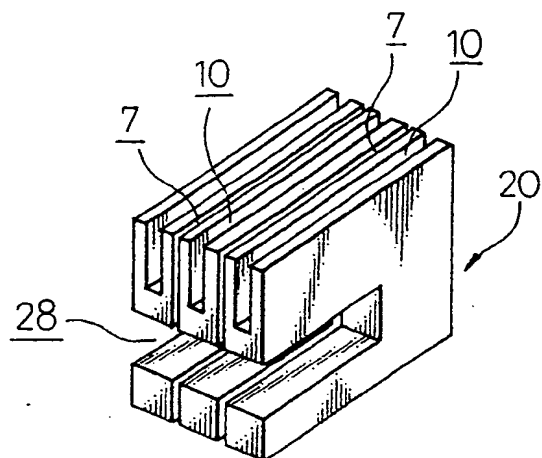


Fig.12(b)

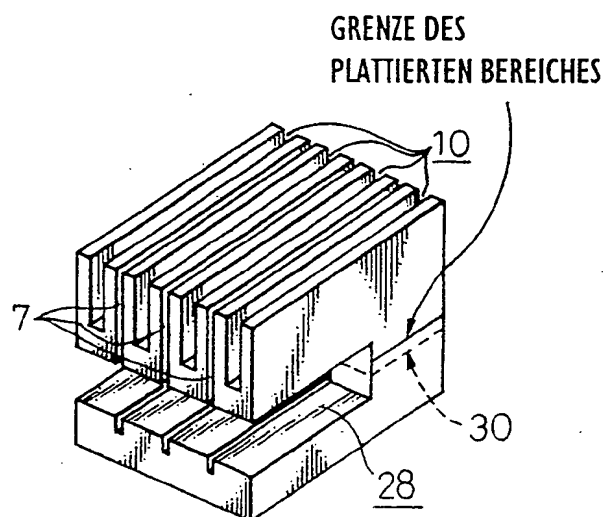
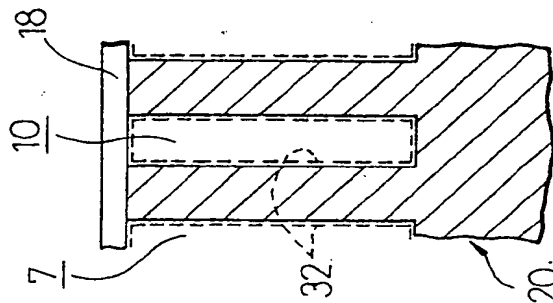
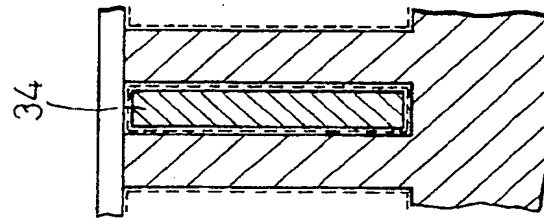


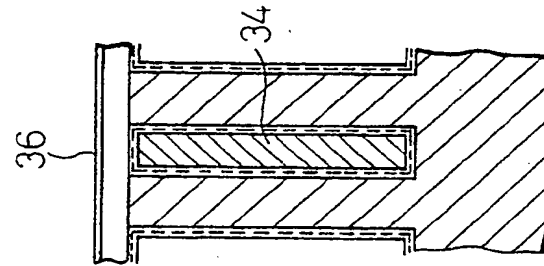
Fig.13(a) Fig.13(b) Fig.13(c) Fig.13(d)



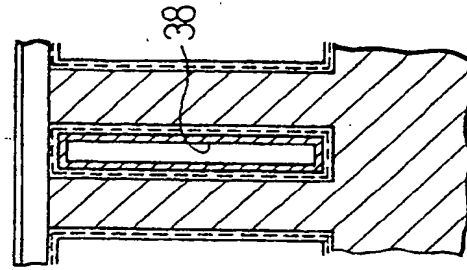
PLATTIEREN DER UNTER-  
LEGUNGS-SCHICHT



AUSFÜLLEN DER SCHLITZE  
MIT WACHS

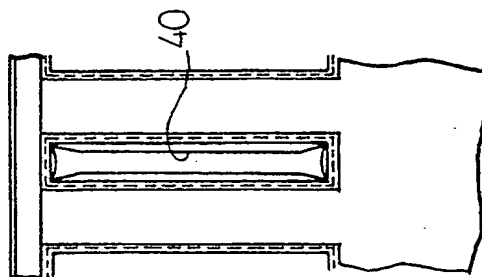
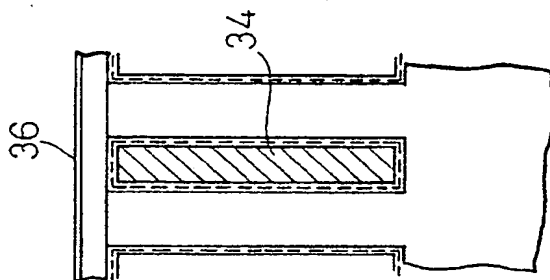
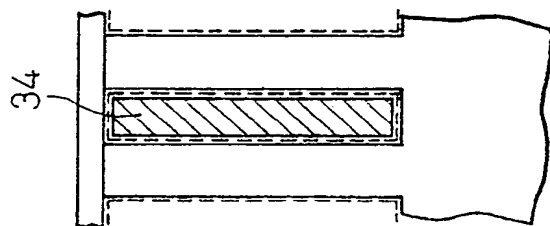
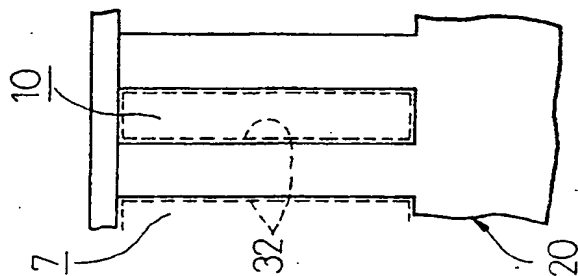


BESCHICHTEN MIT  
RESISTMATERIAL



ENTFERNEN DES WACHSES UND  
PLATTIEREN EINER DICKEN  
SCHICHT

Fig.14(a) Fig.14(b) Fig.14(c) Fig.14(d)



ELEKTRISCH  
PLATTIEREN

Fig.15

